

PROMSTROYPROJECT

# Handbook of Industrial Construction

## TIMBER CONSTRUCTION

Editor-in-Chief of the volume Eng. G. Ph. KUZNETSOV

Associate Editors: Eng. V. G. PISCHIKOV (ass't chief Editor), Prof. G. G. KARLSEN,  
Eng. V. M. KOCHENOV



PROMSTROJPROEKT

# Handbuch für Industriebau

## HOLZKONSTRUKTIONEN

Hauptschriftleiter des bandes Dipl.-Ing. G. F. KUZNEZOW

Schriftleitung: Dipl.-Ing. W. G. PISTCHIKOW (Vertr. d. Hauptred.), Prof. G. G. KARLSEN,  
Dipl.-Ing. W. M. KOTCHENOW

**ПРОЕКТНО-ПРОЕКТО**

**СПРАВОЧНИК  
ПРОЕКТИРОВЩИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

**Главный редактор тома инж. Г. Ф. КУЗНЕЦОВ**

**Редакторы: инж. В. Г. ПИСЧИКОВ (зам. главн. редактора), проф. Г. Г. БАРЛСЕ  
инж. В. М. КОЧЕНОВ**



**ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД**

Набрано и отпечатано в 4-й типографии ОНТИ «Красный  
Печатник».

Директор *Ю. Л. Гершовский*. Технический директор *А. М. Андреев*. Пом. технического директора *П. А. Яковлев*. Нач. наборного цеха *Б. А. Филиппов*. Нач. стереотипного цеха *Б. А. Егоров*. Нач. печатного цеха *Г. А. Трейлоб*. Нач. переплетного цеха *З. Г. Пятова*.

Главный редактор **инж. В. А. ЗАМАРАЕВ**

и редактор **Я. И. ШЕВЕЛЕНКО**

**Ю. И. НИКОЛАЕВА**

---

Адрес Редакции: Москва, 48, Большие Кочки, д. 17а

«ПРОМСТРОЙПРОЕКТ»

## О П Е Ч А Т К И

| Страница | Столбец    | Страна              |               | Напечатано  | Должно быть   | Винювный опечатки                |
|----------|------------|---------------------|---------------|---|---|----------------------------------|
|          |            | сверху              | снизу         |   |   |                                  |
| 34       | Лев.       | —                   | 15            | $0,80 \sqrt{\left(\frac{I_0}{I_{\max}}\right)^2}$   | $0,80 \sqrt[3]{\left(\frac{I_0}{I_{\max}}\right)^2}$  | Редабюро справочника             |
| 35       | Пр.        | —                   | 24            | 0,719   | 0,779   | •                                |
| 40       | Таблица 1  |                     |               | 1063  | Рисунки граф 8 и 18 поменять местами<br>В пятой вертикальной графе, в строках 1, 2, 10, 14, 16 и 18 $n_1$ заменить на $n_2$ | Редакция справочника             |
| 82       | Пр.        | —                   | 17            |   |   | 2083                             |
| 121      | •          | —                   | 1, 2, 3, 4, 5 | %   | ч. (частей по весу)   | Автор и редабюро справочника     |
| 199      | Лев.       | —                   | 26            | $l_n = 4,5:$  | $l_n = 4,5 \quad \phi_n = 4,5 \times 12 = 54 \text{ мм}$  | Автор                            |
| 212      | •          | 19—20               | —             | $\frac{4,5}{6}$                                     | $\frac{4,5}{5}$   | Редабюро справочника             |
| 239      | Пр.        | 8                   | —             | $n = \frac{U_{\max}}{F_{\text{см}}}$                | $n = \frac{U_{\max}}{F_{\text{металл}}}$  | •                                |
| 420      | Таблица 11 |                     |               | $U_6 \left  \frac{\Pi}{V} \right.$                  | Арки пролетом 12 м имеют не 4, а 6 панелей  | •                                |
| 434      | —          | —                   | 17            |   |   | Типография                       |
| 441      | Лев.       | —                   | 10            | ..... — $a_2 a_3$                                   | ..... + $a_2 a_3$   | Автор                            |
| 442      | Пр.        | 2                   | —             | ..... — $P_2 = 0;$                                  | буквы P заменить на q   | Редабюро справочника             |
| 450      | Лев.       | 9<br>11<br>14<br>15 | —             |   | буквы P заменить на Q   | Автор                            |
| 457      | Пр.        | —                   | •             | ..... — $P_2 = 0;$                                  | ..... — $Q_2 = 0 = 0;$  | Типография                       |
| 458      | Лев.       | 13                  | —             | Таблица 5   | Таблица 6   | Автор                            |
| 462      | •          | 1                   | —             | Во всех формулах под фигурами буквы P заменить на q |   | Корректор и редабюро справочника |
| 467      |            |                     |               |   |   | Редабюро справочника             |
| 506      | Пр.        | —                   | 7             | $\frac{2 + \cos \Delta \beta}{\dots}$               | $\frac{2 + \cos \Delta \beta}{\dots}$   | Автор                            |
| 521      | •          | 1                   | —             | $-g l_1^2 - x^2$                                    | $-g (l_1^2 - x^2) \dots$  | •                                |
| 522      | Лев.       | —                   | 8             | пос. см   | пос. м  | •                                |
| 621      | •          | 3                   | —             | ..... в гунтеле                                     | ..... в тоннеле   | Редабюро справочника             |

| Страница   | Столбец | Строка |       | Напечатано   | Должно быть   | Видовник<br>опечатки         |
|------------|---------|--------|-------|--|---|------------------------------|
|            |         | сверху | снизу |  |   |                              |
| 624        | Лев.    | —      | 1     | .. (схемы б и д . . .)                                     | (схемы б и е . . . .)   | Автор                        |
| 624        | Пр.     | 1      | —     | .. (схемы е и е . . .)                                     | (схемы е и д . . . .)   | »                            |
| 638        | »       | —      | 25    | $p_{из} = 0,6q' H$   | $p_{из} = 0,6q' \dots (H)$  | »                            |
| »          | »       | —      | 23    | $p_{\phi} = 0,6q'' h_{\phi}$                               | $p_{\phi} = 0,6q'' \dots (h_{\phi})$  | »                            |
| 658        | »       | 10     | —     | ..... $\sin^2 \theta$                                      | $\sin \theta$   | Редактура справочника        |
| 683        | »       | —      | 9     | ..... $\frac{2}{3-1,2}$ ;                                  | ..... $\frac{2}{3} : 1,2$ ;   | »                            |
| 687        | »       | 12     | —     | $\sqrt[3]{\frac{\dots - 0,40}{\dots 83,4^2}} =$            | $\sqrt[3]{\frac{\dots - 0,40}{83,4^2}} =$   | Корректор                    |
| 706        | Лев.    | 18     | —     | $S = 2Fy_1^2$  | $S = 2Fy_1$   | Автор                        |
| 759        | »       | 6<br>7 | —     | $k = \dots \dots \dots (1)$                                | $k = k_1 + \frac{pk_1}{\gamma} +$<br>$+ \frac{k_1(\beta - \alpha)}{(1 + \gamma)^2 - 1} =$<br>$= k_1 \left[ 1 + \frac{p}{\gamma} + \right.$<br>$\left. + \frac{\beta - \alpha}{(1 + \gamma)^2 - 1} \right], (1)$ | »                            |
| 772        | Пр.     | —      | 1     | .. $= G \frac{\dots \dots \dots}{\sin(\gamma + \alpha_1)}$ | .. $= G \frac{\dots \dots \dots}{\sin \alpha_2 \sin(\gamma + \alpha_1)}$  | »                            |
| 776        | Лев.    | 14     | —     | ..... $H_y$  | ..... $H_y$   | Редактура справочника        |
| 809        | »       | —      | 14    | ..... $\frac{\dots}{EF_k} +$                               | ..... $\frac{\dots}{EF_a} +$  | Автор                        |
| 809        | Пр.     | 8      | —     | $\eta_0 = -\eta \frac{\eta_m}{h}$                          | $\eta_0 = \frac{\eta_m}{h}$   | »                            |
| 835<br>842 |         |        |       |  | Фигуры 55 и 69 поменять местами; надписи оставить на месте  | Автор и редакция справочника |
| 858        |         | 25     | —     | 0,11 мм  | 0,77 мм   | Редактура справочника        |
| 889        | Лев.    | —      | 35    | ОСТ 92   | } действующим ОСТ   | Редакция справочника         |
|            | Пр.     | 10     | —     | ОСТ 608, 609, 610 и 2618                                   |   |                              |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Широкое применение дерева в промышленном строительстве первой пятилетки поставило перед советскими инженерами задачу — овладеть техникой проектирования и строительства сложных сооружений в дереве, создать новые конструктивные схемы, отвечающие масштабам проектируемых зданий и темпам их возведения.

При малой изученности дерева как строительного материала, при почти полном отсутствии литературных источников как советских, так и иностранных ряд научных учреждений Союза взял на себя изучение физико-технических свойств древесины для изыскания новых конструктивных решений в дереве и добился значительных результатов. Особо важная роль в этом вопросе принадлежит сектору деревянных конструкций ЦНИПС. Благодаря работам научных и проектных организаций — СДК ЦНИПС, ПРОМСТРОЙПРОЕКТ и др. — новые конструктивные формы поставили дерево в ряд основных материалов для несущих конструкций.

Подведение итогов научных работ, систематизация опыта в проектировании и возведении деревянных конструкций, накопленного советскими инженерами за годы широкого применения дерева в строительстве в Союзе, являются целью настоящего справочника.

Особо глубокое освещение на страницах справочника нашли конструкции, получившие широкое распространение в практике советского промышленного строительства, как например балки с перекрестной стенкой, сегментные фермы, своды-оболочки, а также типы деревянных конструкций, являющиеся наиболее индустриальными и призванные завоевать в ближайшие годы широкие области применения, например кружально-сетчатые своды, балки на пластинчатых нагелях.

Не ограничиваясь подробным освещением этих конструкций, справочник дает принципы конструирования и примеры решений ряда инженерных сооружений в дереве, как например мачты, башни, градирни и т. п.

Справочник не затрагивает гидротехнических деревянных конструкций, точно так же как почти не затрагивает деревянных железнодорожных мостов. Эти два раздела, имеющие специфические особенности, должны являться предметом специальных трудов.

Помещая помимо таблиц и графиков, облегчающих расчет и подбор сечений элементов деревянных конструкций и сопряжений, также целый ряд типовых решений ферм и балок, редакция ставила перед собой задачу максимально упростить труд по проектированию деревянных конструкций, а главное способствовать созданию условий к массовому изготовлению деревянных конструкций, непременной предпосылкой чего является стандартизация.

Подводя итоги практики строительства, сектор деревянных конструкций ЦНИПС в настоящее время проводит пересмотр ТУ и Н на проектирование и возведение деревянных конструкций.

Однако изменения, вносимые в нормы, не могут служить причиной снижения ценности помещаемого в справочнике материала, так как пересмотр ТУ и Н не меняет типов деревянных конструкций, не меняет способа сопряжений элементов, другими словами, не меняет методику проектирования деревянных конструкций.

Для удобства читателей и конце тома в приложении дан проект нового ОСТ на деревянные конструкции.

Справочник «Деревянные конструкции» является очередным томом Справочника проектировщика промсооружений.

Первая попытка объединения столь обширного и нового материала по деревянным конструкциям является некоторым оправданием наличию ряда пробелов в справочнике, которые могут быть выявлены читателями при практическом пользовании.

## P R E F A C E

The wide use of timber in industrial construction during the first Five Year Plan (1928—1932) placed before the soviet engineers the problem of mastering the technic of design and construction of complex woden structures and of creating new structural types and designs called for by the scale and speed of the construction work.

On account of the limited knowledge of wood as a structural material and the nearly complete lack of literature on the subject, soviet as well as foreign, a number of scientific organisations in the Soviet Union, undertook the study of the physico-technical properties of timber in search of new structural designs and obtained important results.

An especially valuable role in this work was played by the section of timber designs of CNIPS (Central Scientific Research Institute of Industrial Construction).

Due to the work of scientific and design organizations—the Department of wood construction of CNIPS, PROMSTROYPROJECT and others—the new constructive forms developed by them have placed timber in the group of the basic materials for load bearing construction.

The purpose of the present handbook is twofold to summarize the results of scientific work and to systematize the experiences accumulated by soviet engineers in the design and erection of timber structures during the years of their wide application in the Soviet Union.

Particular emphasis has been placed on designs that have been widely accepted in Soviet Industrial Construction practice, as for example: beams with webs consisting of diagonal lagging, segmental trusses, arches with latticed webs, as well as types of timber construction, that might be considered readily adaptable to prefabrication, that is to production at a central plant and which should win for themselves a wide field of use in the coming years. Instances of the latter are the latticed arch, and beams composed of two or three timbers laid one above the other and keyed together at their contact surfaces by hardwood dowels.

The handbook does not merely confine itself to a detailed treatment of these structures; but also gives the principles of design and examples of solutions of a number of problems covering the design of engineering structures in timber, such as masts, towers, cooling towers etc.

The handbook does not touch upon timber hydraulic structures or railroad bridges. These are specific topics and should be considered subjects for special works. The handbook contains tables and graphs to aid in the computation and in the selection of timber members and connections for them as well as a whole series of established (or authoritative) standards for the solution of trusses and beams.

In compiling the present handbook the editors have had in mind not only the speeding up of the work of timber design, but more particularly to create favourable conditions for mass production of timber structures — an indispensable requirement for the standardization of structural members and types.

Drawing conclusions from construction practices, the section of timber design of the Central Scientific Research Institute for Industrial Construction is at the present time revising the technical specifications and standards on timber design and erection.

However, these changes in the standards cannot serve to lessen the significance of the material included in the handbook since the revision of the Technical Specifications and Standards does not alter the types of timber structures nor the methods of connecting the members in other words, the revision does not change the methods of timber structural design.

For the convenience of the reader, the appendix at the end of the volume contains the proposed new All Union Standards (OST) for «Timber Construction».

The handbook of «Timber Construction» is considered one of the volumes of the Handbook of Industrial Construction.

The fact that this is the first attempt to compile the widely scattered and new material on timber construction may be considered some justification for some omissions that may be apparent to the readers and users of the handbook.

---

## VORWORT

Die ausgedehnte Verwendung von Holz im Industriebau des Ersten Fünfjahrplans stellte die Ingenieure der USSR vor die neue Aufgabe komplizierte Bauten in Holz zu entwerfen und zu errichten. Sie mussten neue Konstruktionslösungen ausarbeiten, die dem Masstab der zu projektierenden Gebäude und den Fristen ihrer Aufstellung gerecht werden konnten.

Infolge mangelhafter Erforschung des Holzes als Baumaterial und des fast völligen Fehlens von Quellen sowohl in der sowjetischen als auch in der ausländischen Literatur musste eine Reihe von wissenschaftlichen Anstalten der Union die Untersuchung der physikalisch-technischen Eigenschaften des Holzes auf sich nehmen. Dabei wurden beträchtliche Resultate in der Ermittlung neuer konstruktiver Lösungen im Holzbau erzielt. Eine besonders wichtige Rolle bei dieser Frage fiel der Abteilung für Holzkonstruktionen des Zentralen Wissenschaftlichen Forschungsinstituts für Industriebauten (ZNIPS) zu. Unterstützt durch die Forschungen der führenden entwerfenden Organisationen (Promstrojprojekt) stellten diese Resultate das Holz in eine Reihe mit den Hauptmaterialien für tragende Konstruktionen. Die wissenschaftlichen Arbeiten und die Erfahrungen, welche die sowjetischen Ingenieure in den verflossenen Jahren gesammelt haben, systematisch zu ordnen — dies bildet das Ziel des vorliegenden Handbuches.

Eine besonders eingehende Beleuchtung haben in ihm diejenigen Konstruktionen gefunden, die im sowjetischen Industriebau eine weite Verbreitung erhalten haben, wie z. B. Träger mit kreuzweise verbretterten Stegen, segmentförmige Binder, Gewölbeschalen. Ferner wurden auch diejenigen Holzkonstruktionstypen behandelt, die sich zu fabrikmässiger Herstellung eignen, und die berufen sind sich in den nächsten Jahren ein weites Anwendungsgebiet zu erobern z. B. Netzgewölbe und Träger mit plattenförmigen Dübeln.

Das Handbuch beschränkt sich nicht nur auf eine genaue Erläuterung dieser Konstruktionen, sondern es gibt auch Konstruktionsprinzipien und Lösungsbeispiele für eine Reihe von hölzernen Ingenieurbauten wie beispielweise Masten, Turmbauten, Kühltürme usw.

Nicht behandelt werden Holzkonstruktionen im Wasserbau, ebenso wie auch Eisenbahnbrücken aus Holz nur gestreift werden. Diese beiden Kapitel, die spezifische Eigenarten aufweisen, sollen das Thema besonderer Arbeiten bilden.

Die Schriftleitung stellte sich die Aufgabe, die Arbeit beim Entwurf von Holzkonstruktionen möglichst zu vereinfachen; deswegen brachte sie ausser Tabellen und Kurventafeln, die die Berechnung und die Wahl der Querschnitte der einzelnen Elemente und ihrer Verbindungen erleichtern, auch eine ganze Reihe Standardlösungen für Binder und Balken. Auf diese Weise wollte sie hauptsächlich die Vorbedingung für eine Massenherstellung von Holzkonstruktionen schaffen, da eben die Standardisierung als deren Voraussetzung anzusehen ist.

Die Abteilung für Holzkonstruktionen des ZNIPS zieht zurzeit die Summe aus der bisherigen Baupraxis und unterwirft dabei die Bestimmungen für Entwurf und Ausführung von Holzkonstruktionen einer Durchsicht. Die Änderungen, die die Bestimmungen hierbei erlauben, vermindern jedoch in keiner Weise den Wert des im Handbuch gegebenen Materials. Denn bei der Durchsicht der Bestimmungen ändern sich weder die Typen der Holzkonstruktionen noch die Art der Verbindungen ihrer einzelnen Teile. Mit andern Worten, die Methode des Entwerfens von Holzkonstruktionen wird nicht angetastet.

Zur Bequemlichkeit der Leser befindet sich am Schluss des Buches in der Form einer Beilage der Entwurf der neuen Bestimmungen für Holztragwerke—OST (Unionsstandart).

Der Band «Holzkonstruktionen» erscheint als Serienband des «Handbuches für Industriebau».

Der Umstand, dass hier ein erster Versuch vorliegt, einen so umfangreichen und neuartigen Stoff zusammenfassend zu behandeln, gibt eine gewisse Rechtfertigung für das Vorhandensein einiger Lücken im Handbuch, welche den Lesern bei der Benutzung auffallen dürften.

---



# РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

Проф. Е. И. САВКОВ

### 1. СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

#### 1. Строение древесины

Среди большинства строительных материалов дерево выделяется неоднородностью своего строения, зависящей от характера образования и условий роста; вследствие этого и свойства древесины не только не одинаковы в разных направлениях, но и непостоянны в одном направлении. Кроме того наличие недостатков, появившихся или при жизни дерева или же в процессе его хранения, обработки и эксплуатации, также оказывает влияние на качество материала.

Различают следующие основные разрезы ствола (фиг. 1):

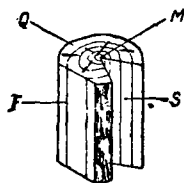
$Q$  — поперечный или торцевой;

$S$  — радиальный;

$F$  — тангенциальный (чем дальше от оси ствола, тем характернее тангенциальный разрез).

Сердцевина  $M$  (сердцевинная трубка) (фиг. 1) — наиболее рыхлая и слабая ткань.

Древесина — наслаения вокруг сердцевинной трубки, от которой древесина отделяется не заметным на глаз камбиальным слоем, отлагающим в процессе роста дерева наслаения древесины, поэтому самые старые наслаения древесины находятся у сердцевинной трубки, а наиболее молодые — у коры.



Фиг. 1. Основные разрезы древесины

Ядро, оболонь, спелая древесина. В некоторых породах древесина центральной части ствола становится с возрастом более темной и называется ядром, а наружная остается светлой и называется оболонью (или заболонью). Помимо цвета оболонь имеет следующие отличия от ядра: 1) быстрее сохнет и увлажняется, 2) легче подвергается загниванию (почему и не применяется в местах, опасных в этом отношении, — сырых, плохо проветриваемых), 3) легче выгибается и 4) менее сучковата.

Спелой древесиной называется древесина, занимающая место ядра (у некоторых пород) и обладающая его свойствами за исключением ясного отличия по цвету от заболони.

В зависимости от наличия в сечении ствола тех или иных видов древесины различают следующие группы древесных пород:

Таблица 1

Группировка древесных пород

| Породы  | Виды древесины                   | Группировка     |
|---|----------------------------------|-----------------|
| Дуб, ананья, каштан, лиственница, сосна, кедр, тополь | Ядро и оболонь                   | Ядровые         |
| Ясень, ява, берест                                    | Ядро, спелая древесина и оболонь | Ядрово-спелые   |
| Бук, ель, пихта, липа                                 | Спелая древесина и оболонь       | Спело-древесные |
| Граб, береза, ольха, осина                            | Оболонь                          | Оболонные       |

Годовые слои, конусы нарастания, с бег. Каждое наслаение, видимое на разрезе ствола, соответствует годовому периоду роста и называется годовым слоем. На торцевом разрезе годовые слои выделяются в виде колец, а на продольном радиальном разрезе — в виде осевых сечений конусов, так называемых конусов нарастания (фиг. 2). Вследствие конусообразности ствола по мере приближения к вершине диаметр его уменьшается. Это уменьшение называется сбегом, выражается величиной уменьшения, приходящейся на 1 м длины, и в лучших сортах материала не превышает 1—1,5 см.

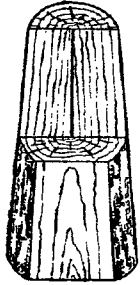
Весенняя и летняя древесина. Годовой слой состоит из более рыхлой и светлой внутренней зоны — весенней, или ранней, древесины и более плотной и темной наружной зоны — летней, или поздней, древесины. Чем больше относительное содержание летней древесины, тем плотнее, тяжелее и крепче

че дресина. Процентное содержание  $m$  летней дресины подсчитывается по формуле:

$$m = \frac{a}{l} 100, \quad (1)$$

где  $a$  — сумма толщин зон летней дресины, измеренных на отрезок  $l$  радиуса торцевого сечения.

**Сердцевинные лучи.** Помимо главной массы клеточек, направленных своей длиной вдоль ствола, в дресине имеется довольно много тонкостенных слабых клеточек, направленных поперек ствола по радиусам и образующих радиальные полосы, называемые сердцевинными лучами. Они имеются во всех породах, но в некоторых, как например у дуба или каштана, они бывают очень крупными, в других же — мелкими, едва заметными. Сердцевинные лучи берут свое начало или от дресины — первичные сердцевинные лучи — или же на некотором расстоянии от нее — вторичные сердцевинные лучи, — но все они доходят до коры.



Фиг. 2. Конусы нарастания

Сердцевинные лучи являются слабыми местами дресины и по ним именно и появляются трещины.

## 2. Физические свойства дресины

**Звукопроводность.** При скорости звука в воздухе, принятой за единицу, скорость распространения его по дресине и другим строительным материалам (по американским данным) выражается следующими цифрами:

Таблица 2

Относительная звукопроводность дресины и других стройматериалов

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| Ясень, перпендикулярно волокнам | 4,0  |
| » параллельно                   | 13,5 |
| Пихта                           | 14,5 |
| Тополь                          | 12,4 |
| Ильм                            | 12,0 |
| Клен                            | 11,8 |
| Дуб                             | 11,2 |
| Бук                             | 9,7  |
| Сосна                           | 9,7  |
| Пробка                          | 1,45 |
| Кирпич                          | 10,6 |
| Гранит                          | 11,5 |

Таблица 3

Относительная способность поглощения звука

|  |       |
|--|-------|
| Открытое окно  | 100,0 |
| Войлок (толщиной 25 мм на расстоянии 75 мм от стены) | 78,0  |
| Ковер  | 20,0  |
| Деревянная обивка (сосна)                            | 6,1   |
| Штукатурка по дрени                                  | 3,4   |
| Кирпичная кладка                                     | 2,5   |

С увеличением температуры и влажности дресины теплоемкость ее увеличивается.

Таблица 4

Теплоемкость дресины и других материалов

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Вода                | 1,000 |
| Воздух              | 0,243 |
| Дресина (в среднем) | 0,327 |
| Асбест              | 0,195 |
| Стекло              | 0,161 |
| Железо              | 0,100 |

**Теплопроводность.** Вдоль волокон дресина проводит тепло лучше, чем поперек волокон; тяжелая и влажная дресина лучше, чем сухая и легкая.

Теплопроводность разных тел в калориях, передающихся с одной грани кубического метра материала на противоположную в течение 1 часа, при разности температур у этих граней в 1° Ц по TV и II для теплотехнического расчета ограждающих конструкций выражается следующими цифрами:

Таблица 5

Теплопроводность дресины и других стройматериалов

|   |       |
|---|-------|
| Асбестовый картон                                   | 0,15  |
| Картон  | 0,15  |
| Пробковая плита                                     | 0,04  |
| Оконное стекло                                      | 0,65  |
| Войлок  | 0,04  |
| Железо  | 50,00 |
| Опилки  | 0,08  |
| Вода  | 0,50  |
| Кирпичная кладка в наружных стенах                  | 0,70  |
| Сосна и ель поперек волокон в наружных конструкциях | 0,15  |
| То же во внутренних конструкциях                    | 0,12  |
| » в торцах, не защищенных от дождя                  | 0,40  |
| » в защищенных торцах                               | 0,33  |
| Дуб поперек волокон                                 | 0,20  |
| То же вдоль волокон                                 | 0,35  |

Линейное расширение дресины характеризуется цифрами, приведенными в табл. 6.

Таблица 6

Линейное расширение дресины и других стройматериалов на 1° Ц

| Вдоль волокон                    | Поперек волокон           |
|----------------------------------|---------------------------|
| Ясень . . . . . 0,000096         | —                         |
| Бук . . . . . 0,000025           | 0,000610                  |
| Каштан . . . . . 0,000065        | 0,000326                  |
| Ильм . . . . . 0,000056          | 0,000443                  |
| Дуб . . . . . 0,000049           | 0,000544                  |
| Ель . . . . . 0,000054           | 0,000340                  |
| Береза желтая . . . . . 0,000020 | —                         |
| Другие материалы                 |                           |
| Кирпич . . . . . 0,000056        | Гранит . . . . . 0,000087 |
| Бетон . . . . . 0,000144         | Чугун . . . . . 0,000106  |
| Стекло . . . . . 0,000096        | Сталь . . . . . 0,000101  |

Таблица 7

Электросопротивление дресины и других материалов, выраженное в омах на 1 см<sup>2</sup>

|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| Медь                    | 0,0000016          |
| Сталь мягкая            | 0,000016           |
| Дресина свежесрубленная | 7 500              |
| Вода                    | 50 000             |
| Дресина сухая           | 750 000 000        |
| Лед                     | 5 000 000 000      |
| Стекло                  | 90 000 000 000 000 |

**Влажность.** Влага в древесине может быть связанной (в стенках клеточек) и свободной (в полостях). Сначала испаряется свободная влага, а затем уже связанная. Момент, соответствующий отсутствию свободной влаги и наличию полностью связанной, называется точкой насыщения волокон.

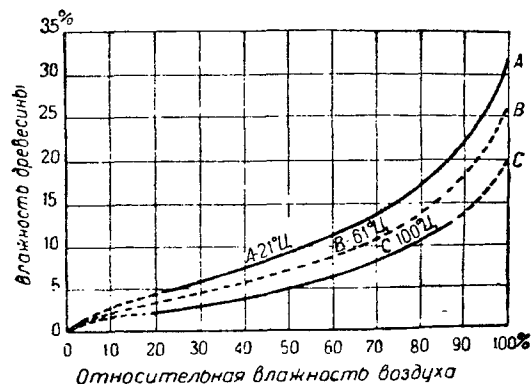
Влажность древесины выражается формулой:

$$k = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} 100\% \quad (2)$$

где  $Q_1$  — первоначальный вес древесины;

$Q_2$  — вес ее после высушивания (при температуре  $100^\circ \text{C}$  до постоянного веса).

При достаточно длительном пребывании древесины в воздухе той или иной температуры и относительной влажности древесина приобретает влажность соответственно диаграмме (фиг. 3). После вылеживания на открытом воздухе древесина, получившая окончательную влажность, называется воздушно-сухой.



Фиг. 3. Диаграмма зависимости влажности древесины от влажности воздуха

В строительных конструкциях различают следующие степени влажности древесины (в %):  
 воздушно-сухая древесина — 12—18;  
 полусухая древесина — 18—23;  
 сырая древесина — 23—45;  
 свежесрубленная древесина — 70—80.

Все свойства древесины тесно связаны с ее влажностью, и поэтому каждая характеристика древесины должна сопровождаться указанием влажности. Для сравнения качества древесины вне зависимости от ее влажности следует давать характеристику свойств при влажности 15%.

Понижение влажности (высушивание) имеет следующие практические цели:

- а) доведение влажности до степени, соответствующей условиям эксплуатации (фиг. 3) во избежание изменения формы и размеров деталей и растрескивания их;
- б) предохранение от загнивания;
- в) повышение механических свойств;
- г) уменьшение веса.

**Усушка и разбухание.** Древесина не изменяет своих размеров, высыхая от самого влажного состояния до точки насыщения волокон (т. е. приблизительно до влажности 30%). При дальнейшем понижении влажности древесина начинает давать усушку, т. е. уменьшается в размерах. Обратное явление — разбухание (увеличение размеров) — происходит

при увеличении влажности до точки насыщения волокон.

Чем плотнее древесина, тем большую усушку она дает.

При высушивании до воздушно-сухого состояния средняя величина усушки (по немецким данным) выражается цифрами (в %):

- вдоль волокон — 0,1;
- поперек волокон в радиальном направлении — 3—5;
- в тангенциальном направлении — 6—10.

При высушивании от свежесрубленного до абсолютно сухого состояния (по американским данным) усушка колеблется в пределах (в %):

- вдоль волокон — 0,10—0,35;
- поперек волокон в радиальном направлении — 2,0—8,5;
- в тангенциальном направлении — 4,0—14,0;
- объемная усушка — 7,0—21,0.

Таблица 8

Усушка различных пород древесины (в %) (по американским данным)

| Порода                | Радиальная | Тангенциальная | Объемная  |
|-----------------------|------------|----------------|-----------|
| Сосна . . . . .       | 2,2—5,9    | 5,6—8,2        | 7,8—12,7  |
| Ель . . . . .         | 3,4—4,5    | 6,6—7,8        | 10,4—14,8 |
| Пихта . . . . .       | 2,8—4,9    | 6,6—10,0       | 10,2—14,1 |
| Лиственница . . . . . | 4,2        | 8,1            | 13,2      |
| Дуб . . . . .         | 3,6—8,0    | 6,9—14,3       | 12,1—14,4 |
| Ясень . . . . .       | 4,2—5,3    | 6,5—8,7        | 12,6—15,2 |
| Ильм . . . . .        | 4,2—4,9    | 8,1—9,5        | 13,8—14,4 |
| Бук . . . . .         | 4,8        | 10,6           | 16,2      |
| Береза . . . . .      | 6,3—7,4    | 7,6—9,0        | 15,0—16,8 |
| Ольха . . . . .       | 4,4        | 7,3            | 12,6      |
| Осица . . . . .       | 3,3        | 6,9            | 11,1      |
| Ива . . . . .         | 2,6        | 7,8            | 13,8      |
| Тополь . . . . .      | 4,1        | 6,9            | 11,4      |
| Липа . . . . .        | 6,6        | 9,3            | 15,8      |

Приведенные данные показывают, что усушка вдоль волокон ничтожна, а поперек волокон — в тангенциальном направлении в общем примерно вдвое больше, чем в радиальном.

Усушка древесины проявляется полностью, когда высыхание происходит равномерно по всей толщине материала; в этом случае наблюдается пропорциональность между усушкой и влажностью древесины (от точки насыщения волокон и ниже). При неравномерном просыхании (особенно заметном в толстом материале) прежде всего высыхание происходит у наружной поверхности, где и начинает проявляться усушка; в середине же толщины высыхание появляется позже, и поэтому усушка материала не проявляется полностью. Когда ближайшим к поверхности зоны древесины уже достаточно подохнут и следовательно затвердеют, а усушка начнет проявляться глубже, то там она тоже может быть неполной, будучи сдерживаемая не получившей достаточной усушки и уже затвердевшей в этом положении наружной зоной материала. По этой причине на практике при обычном высушивании наблюдается, что толстый материал дает меньшую усушку, чем тонкий, сохнувший более равномерно.

Коробление и растрескивание. Вследствие разной усушки древесины в радиальном и тангенциальном направлениях и неравномерности высушивания материала возникает его коробление.

Так, большая усушка в тангенциальном направлении вызывает коробление досок в виде

Таблица 9

вагиба их краев в сторону выпуклости годовых слоев (фиг. 4). Такого рода коробления материала можно избежать правильной его укладкой при достаточном нагружении, препятствующем короблению.

Неравномерное высушивание также может вызывать коробление; например середовая доска (нижняя, фиг. 4), не дающая коробления при равномерном высушивании благодаря симметричному расположению годовых слоев, может покоробиться, если одна широкая грань будет сохнуть скорее другой.

Если появляющиеся при высушивании древесины напряжения превзойдут определенную



Фиг. 4. Коробление древесины

величину, то в ней образуются трещины, главным образом по сердцевинным лучам (как по наиболее слабым местам), боковые и торцевые.

Во избежание трещин необходимо высушивание вести рационально, не вызывая появления опасных напряжений; для предупреждения торцевых трещин необходимо задержать испарение влаги с этих поверхностей путем их закрашивания масляной краской.

В е. с. Удельный вес твердого вещества, из которого состоят стенки клеточек древесины, приблизительно одинаков для всех пород и выражается величиною около 1,5.

Практически важным является вес единицы объема древесины в том виде, в каком она применяется (т. е. с известным содержанием влаги и воздуха), т. е. так называемый объемный вес; в этом случае цифры выражают вес в граммах одного кубического сантиметра, или в килограммах одного кубического дециметра, или в тоннах одного кубического метра.

Вследствие зависимости объемного веса древесины от влажности надо отмечать влажность, к которой относится данный объемный вес.

Объемный вес (установленный при одинаковой влажности) сильно колеблется не только для разных пород, но даже и в пределах одной породы вследствие различной плотности древесины.

Ниже приведен объемный вес разных пород из приложения к ОСТ 379.

### 3. Механические свойства древесины

Вследствие особенностей строения древесины основной характеристикой ее механических свойств (в отличие от металлов) является сопротивление сжатию (главным образом вдоль волокон), хотя сопротивление его растяжению вдоль волокон значительно больше. Это объясняется тем, что при растяжении для передачи усилия приходится подвергать концы растянутого элемента сжатию поперек волокон древесины или заставлять ее работать на скалывание; обим этим усилием древесина сопротивляется слабо. Кроме того самое испытание на растяжение дает обычно довольно пестрые результаты, в то время как при сжатии вдоль волокон результаты получаются более ровные и

Объемный вес древесины

| Порода                | При влажности 10% | В свежесрубленном состоянии (средний) |
|-----------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Дуб . . . . .         | 0,53—1,05         | 1,03                                  |
| Ясень . . . . .       | 0,57—0,94         | 0,92                                  |
| Бук . . . . .         | 0,63—0,83         | 0,97                                  |
| Акация . . . . .      | 0,58—0,85         | 0,88                                  |
| Граб . . . . .        | 0,62—0,82         | 0,99                                  |
| Ильм . . . . .        | 0,56—0,82         | 0,93                                  |
| Береза . . . . .      | 0,51—0,77         | 0,88                                  |
| Каптан . . . . .      | 0,60—0,72         | 0,92                                  |
| Ляственница . . . . . | 0,44—0,83         | 0,83                                  |
| Сосна . . . . .       | 0,31—0,71         | 0,86                                  |
| Ольха . . . . .       | 0,42—0,64         | 0,83                                  |
| Осица . . . . .       | 0,43—0,57         | 0,76                                  |
| Ива . . . . .         | 0,57—0,94         | 0,73                                  |
| Ель . . . . .         | 0,43—0,83         | 0,79                                  |
| Пихта . . . . .       | 0,37—0,80         | 0,83                                  |
| Кедр . . . . .        | 0,40—0,45         | 0,88                                  |
| Тополь . . . . .      | 0,40—0,57         | 0,75                                  |
| Липа . . . . .        | 0,32—0,53         | 0,79                                  |

лучше позволяют характеризовать материал.

Из других испытаний древесины применяется испытание на поперечный статический изгиб (в тангенциальном направлении), на поперечный изгиб ударом (для характеристики вязкости) в том же направлении и на скалывание.

Другие испытания, как-то: на раскалывание, скручивание, твердость, на удержание гвоздей и шурупов, производятся при выполнении специальных работ.

Значительные колебания в плотности строения древесины даже в пределах одной породы, естественно, отражаются и на механических свойствах, имеющих благодаря этому довольно большой диапазон.

Поэтому для правильной характеристики материала необходимо производить большое число испытаний.

Механические свойства древесины имеют некоторую взаимную зависимость, которую в общем можно выразить следующими цифрами:

| Растяжение | Сжатие   |         | изгиб    | Скалывание | Среза     |         |
|------------|----------|---------|----------|------------|-----------|---------|
|            |          | ⊥       |          |            |           |         |
| 1          | 1/9—1/30 | 1/2—1/8 | 1/6—1/20 | 3/4        | 1/14—1/20 | 1/3—1/4 |

Предел упругости при изгибе очень близко подходит (немного превосходя) к крепости на сжатие вдоль волокон.

Коэффициенты механических свойств, характеризующие главнейшие породы дерева, приведены в табл. 10.

### 4. Влияние на крепость древесины влажности, плотности и неправильностей ее строения

#### 1) Влияние влажности

Механические свойства древесины (за некоторыми исключениями) при увеличении влажности ее от абсолютно-сухого состояния (влажность равна 0%) до точки насыщения волокон (влаж-

СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

Таблица 10

Механические свойства древесины

| Порода                 | Объемный вес $\gamma_{15}$ |        |        | Сжатие вдоль волокон                |             |      | Изгиб статический |             |         | Изгиб ударный |         |          | Скалывание |        |             |
|------------------------|----------------------------|--------|--------|-------------------------------------|-------------|------|-------------------|-------------|---------|---------------|---------|----------|------------|--------|-------------|
|                        | $\rho/\text{см}^3$         |        |        | времени, сопр. в кг/см <sup>2</sup> | влажн-ность | %    | от — до           | средн.      | от — до | средн.        | от — до | средн.   | от — до    | средн. | влажн-ность |
|                        | от — до                    | средн. | средн. |                                     |             |      |                   |             |         |               |         |          |            |        |             |
| Сосна (Европ. ч. СССР) | 0,38—0,70                  | 0,51   | 400    | 250—625                             | 15          | 800  | 500—1150          | 0,075—0,400 | 0,225   | 45—95         | 70      | 15       |            |        |             |
| Сосна (Сибирь)         | 0,34—0,70                  | 0,47   | 370    | 162—500                             | 15          | 700  | 286—1150          | 0,049—0,239 | 0,171   | —             | —       | —        |            |        |             |
| Ель                    | 0,37—0,57                  | 0,47   | 425    | 31—565                              | 15          | 780  | 524—1010          | 0,100—0,251 | 0,165   | —             | —       | —        |            |        |             |
| Пихта кавказская       | 0,34—0,55                  | 0,43   | 400    | 292—550                             | 15          | 760  | 524—1078          | 0,074—0,398 | 0,180   | 45—95         | 77      | 15       |            |        |             |
| Кедр сибирский         | 0,39—0,45                  | 0,43   | 320    | 256—408                             | 15          | 780  | 398—703           | 0,073—0,22  | 0,150   | —             | —       | —        |            |        |             |
| Лиственница            | 0,52—0,80                  | 0,65   | 600    | 413—610                             | 15          | 1000 | 800—1250          | 0,100—0,475 | 0,240   | 77—100        | 90      | 9        |            |        |             |
| Береза (Урал)          | 0,49—0,70                  | 0,60   | 485    | 315—620                             | 15          | 875  | 608—1144          | 0,124—0,677 | 0,400   | 91—154        | 120     | 104/2—13 |            |        |             |
| Каштан кавказский      | 0,41—0,19                  | 0,45   | 403    | 343—690                             | 12          | 700  | 608—691           | 0,075—0,559 | 0,140   | 74—101        | 90      | 15       |            |        |             |
| Ильм японский          | 0,41—0,70                  | 0,58   | 400    | 384—647                             | 9           | 900  | 557—1223          | 0,100—0,563 | 0,30    | —             | —       | —        |            |        |             |
| Тополь маньчжурский    | 0,35—0,48                  | 0,52   | 400    | 320—564                             | 10          | 870  | 417—696           | 0,062—0,350 | 0,240   | 65—75         | 70      | 12       |            |        |             |
| Акация                 | 0,69—0,80                  | 0,76   | 625    | 465—716                             | 15          | 1150 | 508—1512          | 0,580—1,236 | 0,875   | —             | —       | —        |            |        |             |
| Бук (Кавказ)           | 0,53—0,79                  | 0,65   | 600    | 432—820                             | 10          | 1080 | 819—1480          | 0,185—0,702 | 0,320   | 123—145       | 126     | 12       |            |        |             |
| Грб                    | 0,82—0,86                  | 0,84   | 580    | 571—604                             | 15          | 1200 | 123—1345          | 0,316—0,517 | 0,460   | —             | —       | —        |            |        |             |
| Ясень (Украина)        | 0,58—0,97                  | 0,75   | 450    | 375—725                             | 15          | 1100 | 700—1700          | 0,150—1,150 | 0,350   | —             | —       | —        |            |        |             |
| Дуб                    | 0,62—0,83                  | 0,70   | 500    | 425—650                             | 15          | 1000 | 770—1300          | 0,150—0,610 | 0,350   | —             | —       | —        |            |        |             |
| Липа                   | 0,43—0,57                  | 0,48   | 360    | 259—463                             | 15          | 650  | 478—839           | 0,112—0,350 | 0,236   | —             | —       | —        |            |        |             |

ность равна 30%) понижаются; поэтому коэффициенты крепости древесины необходимо сопр-ождавать значком, указывающим на степень влажности.

Приведение коэффициента крепости древесины на сжатие вдоль волокон производится по формуле:

$$D_{15} = D_k [1 + a(k - 15)], \quad (3)$$

где  $D_{15}$  — коэффициент крепости, приведенный к влажности 15%;

$D_k$  — коэффициент крепости при влажности (в пределах от 8 до 23%);

$k$  — влажность в процентах;

$a$  — поправочный коэффициент.

Эта формула позволяет производить сравнение качества древесины путем приведения ее крепости к одной и той же (нормальной) влажности  $k = 15\%$ .

Аналогичной формулой пользуются для пересчета коэффициентов крепости на изгиб и на скалывание.

Значения поправочных коэффициентов для различных видов сопротивления древесины даны в табл. 11.

При отсутствии для данной породы точных поправочных коэффициентов применяется средняя поправка: для сжатия—0,04, для изгиба и скалывания — 0,03.

Зависимость модуля упругости сосны от влажности  $k$  и объемного веса  $\gamma_{15}$  выражается следующими формулами:

$$E = 100 [(91\gamma_{15} - 26)(50 - k) + 800]; \quad (4)$$

на сжатие:

$$E = 100 [(81\gamma_{15} - 23)(50 - k) + 740]; \quad (5)$$

отношение  $\frac{E_{сжат}}{E_{сжат}} \approx 1,1$ .

2) Влияние плотности

Плотность древесины зависит от количества вещества стенок клеточек в единице объема древесины и может быть следовательно охарактеризована приближенно процентным содержанием летней древесины, а более точно — объемным весом.

Чем больше содержание летней древесины или чем больше объемный вес, тем плотнее древесина и тем выше ее механические свойства.

Зависимость между содержанием летней древесины и объемным весом для сосны приближенно может быть выражена уравнением:

$$\gamma_{15} = 0,012 m + 28,$$

где  $\gamma_{15}$  — объемный вес, а  $m$  — содержание летней древесины в процентах.

Зависимость механических свойств сосны от объемного веса выражается формулами:

а) для сжатия вдоль волокон:

$$D_{15} = (1035\gamma_{15} - 105) \pm 50; \quad (6)$$

б) для изгиба:

$$B_{15} = (2000\gamma_{15} - 195) \pm 100, \quad (7)$$

$D_{15}$  и  $B_{15}$  — коэффициенты крепости при влажности  $k = 15\%$ .

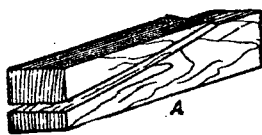
Поправочные коэффициенты  $\alpha$  для определения сопротивления древесины

|  | Сосна | Ясень | Береза | Клен | Листопад-ница | Дуб  | Пихта |
|--|-------|-------|--------|------|---------------|------|-------|
| Сжатие вдоль волокон . . . . .                                 | 0,05  | 0,05  | 0,045  | 0,04 | 0,050         | 0,04 | 0,04  |
| » поперек волокон в тан-<br>генциальном направлении . . . . .  | 0,045 | —     | —      | —    | —             | —    | —     |
| Сжатие поперек волокон в радиаль-<br>ном направлении . . . . . | 0,035 | —     | —      | —    | —             | —    | —     |
| Изгиб в тангенциальном направ-<br>лении . . . . .              | 0,04  | 0,035 | 0,04   | 0,04 | 0,04          | 0,03 | 0,03  |
| Скалывание в тангенциальной плос-<br>кости . . . . .           | 0,03  | —     | —      | —    | —             | —    | 0,02  |
| Скалывание в радиальной плос-<br>кости . . . . .               | 0,035 | —     | —      | —    | —             | —    | —     |

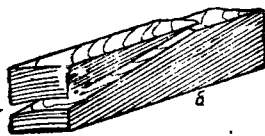
3) Влияние неправильностей строения

Часть недостатков<sup>1</sup> здоровой древесины выражается в неправильностях или повреждениях формы материала (бурелом, сухобокость, пожарная подсушина, закомелистость, ройка, сбежистость, кривизна, затеска, облом и пр.), которые или только портят форму сортамента или же заставляют при обработке в большей или меньшей степени перерезать волокна, имеющие неправильное направление, и тем самым снижать крепость (см. косослой). Другая часть недостатков нарушает целостность строения (равного рода трещины, серница, прорость и т. п.); в зависимости от этих нарушений соответственно снижается и крепость материала. Наконец третья часть связана с неправильностью строения древесины — косослой, свилеватость, крень и пр. К недостаткам этого рода можно условно отнести и сучки.

Косослоем (фиг. 5) называют отклонение волокон древесины от направления образующей ствола, благодаря чему волокна следуют по винтовой линии с большим или меньшим уклоном, который измеряется величиной отклонения на единицу длины ствола (в обыкновенном материале допускается не выше 8 см на 1 пог. м, в ответственных элементах конструкций — не выше 5 см на 1 пог. м).



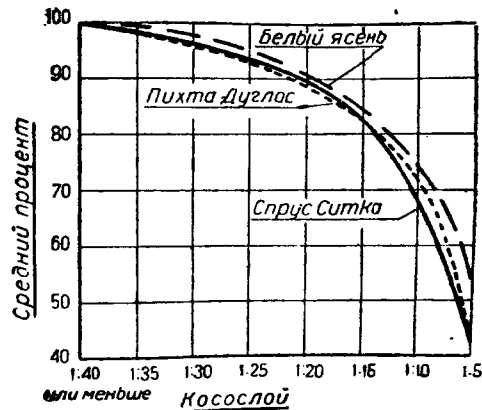
Фиг. 5. Косослой



Фиг. 6. Неправильность распиловки

Отклонение волокон при косослое остается и в пиленом материале и в детали, полученной из него. Следует однако отметить, что отклонение волокон от оси детали может получиться и при прямой распиловке материала; в случае неправильной распиловки его может быть получен или как бы искусственный косослой (аналогично фиг. 5) или же перерезание годовых слоев под углом (фиг. 6). Во всех приведенных случаях влияние отклонения волокон на крепость древесины зависит исключительно от их уклона.

Американские исследования (фиг. 7) показали, что понижение механических свойств невелико, если отклонение волокон не превышает  $1/20$ , т. е. 5 см на 1 м длины (кривые характеризуют понижение коэффициента крепости при изгибе, модуля упругости, работы при статическом и ударном изгибе).



Фиг. 7. Диаграмма зависимости механических свойств древесины от косослоя

Исследование влияния направления волокон на механические свойства сосны, произведенное в Союзе, дало следующие результаты.

Зависимость коэффициента крепости сосны на сжатие от наклона волокон представлена на фиг. 8, где по оси ординат отложен коэффициент крепости в процентах от коэффициента крепости при сжатии вдоль волокон, а по оси абсцисс — угол наклона волокон (для равных комбинаций этого наклона: группа I — наклон в радиальной плоскости, группа V — наклон в тангенциальной плоскости, остальные группы — комбинированный наклон в той и другой плоскости)<sup>2</sup>.

В табл. 12 приведены коэффициенты крепости сосны на сжатие поперек волокон и на скалывание в процентах от коэффициента крепости на сжатие вдоль волокон.

Зависимость от наклона волокон коэффициента крепости сосны при статическом поперечном изгибе представлена на фиг. 9.

<sup>1</sup> Номенклатура приведена в ОСТ 6719 «Проки древесины».

<sup>2</sup> Флаксерман А. Н., Влияние наклона волокон на механические свойства древесины сосны, Труды ЦАГИ, вып. 78.

Таблица 12

Соотношение коэффициентов крепости сосны

| Сжатие вдоль волокон | Сжатие поперек волокон |            | Скалывание     |            |
|----------------------|------------------------|------------|----------------|------------|
|                      | тангенциальное         | радиальное | тангенциальное | радиальное |
| в процентах          |                        |            |                |            |
| 100                  | 17                     | 10         | 19             | 23         |

Таблица 13

Значения коэффициентов А и В в ф-ле (8)

| Угол наклона | Перерез годовых слоев (при неперевильной распиловке) |        | Косослой |        |
|--------------|--|--------|----------|--------|
|              | А  | В      | А        | В      |
| 0°           | +0,40  | -0,042 | +0,5     | -0,038 |
| 3°           | +0,25  | -0,041 | -1,5     | -0,022 |
| 5°           | +0,10  | -0,040 | -2,0     | -0,017 |
| 10°          | +1,10  | -0,028 | -4,3     | +0,007 |
| 12°          | +2,00  | -0,018 | -4,5     | +0,011 |

Зависимость от наклона волокон критического напряжения при продольном изгибе выражается формулой:

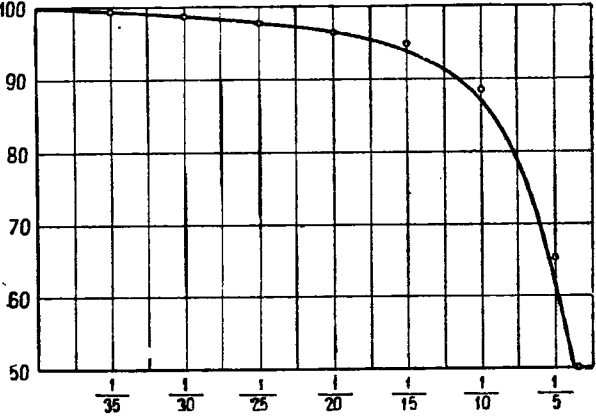
$$P_{кр} = [D_{a^0} + A \frac{L}{r} + B (\frac{L}{r})^2], \quad (8)$$

где  $D_{a^0}$  — коэффициент крепости на сжатие при соответствующем угле наклона волокон;  
 $L$  — длина образца (от 3 до 54,5 см);  
 $r$  — радиус инерции;  
 $\frac{L}{r}$  — в пределах от 5,25 до 94,2.

В общем можно считать, что для нашей сосны при наклоне волокон в 5 см на 1 м ( $1/20$ ), или  $\alpha = 3^\circ$ , понижение крепости (максимальное для статического изгиба) равно 4—5%.

Углу наклона  $\alpha = 5^\circ$  (или  $1/12$ ) соответствует понижение крепости до 10%.

Свилеватость, т. е. волнообразное или путаное расположение волокон, также сказывается на механических свойствах древесины.



Фиг. 9. Диаграмма зависимости коэффициента крепости сосны на статический изгиб от косослоя

Крепость, т. е. твердая древесина широкослонной стороны ствола эксцентричного расположения годовых слоев, отличается следующими особенностями механических свойств: крепость и модуль упругости на растяжение меньше нормальных, крепость на сжатие и изгиб в свежесрубленном состоянии выше нормальных, модуль упругости при изгибе как сырой, так и сухой древесины ниже нормального. Применение такой древесины ограничено вследствие значительного коробления и растрескивания, трудности обработки и большой деформации при изгибе.

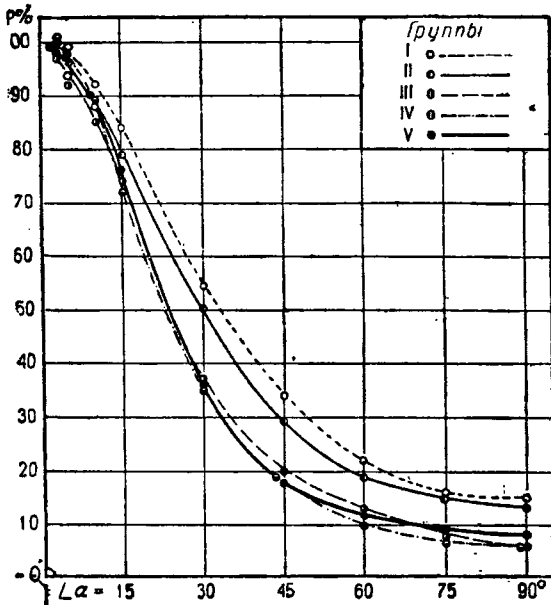
Сучки. Сучковатость древесины также является недостатком, так как волокна самого сучка направлены обычно почти под прямым углом к волокнам древесины, а прилегающие к сучку волокна ствола обходят его, искривляясь на большем (сосна) или меньшем (ель) расстоянии от сучка; все вместе взятое ведет в большинстве случаев к ослаблению сопротивления древесины.

Наличие сучка при сжатии древесины вдоль волокон может привести к снижению крепости на 30% и более в зависимости от размеров сучка и размеров сжимаемого сечения.

При сжатии поперек волокон наличие сучка, напротив, повышает коэффициент крепости.

При поперечном изгибе ослабление материала, вызываемое сучком, также зависит от относительных размеров сучка и сечения материала и от места расположения сучка.

Особенно сильное ослабление вносит сучок на растянутой кромке, меньшее — на сжатой и некоторое усиление при расположении его в



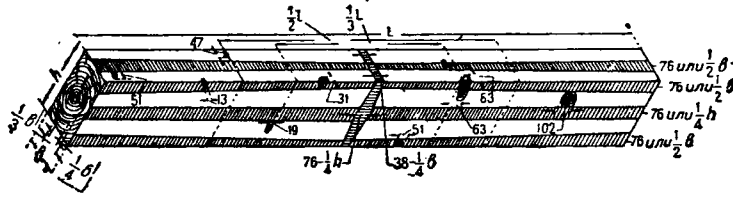
Фиг. 8. Диаграмма зависимости коэффициента крепости сосны на сжатие вдоль волокон от косослоя

Крепость свилеватой древесины может снижаться до  $1/3$  величины крепости прямослойной древесины.

воне нейтрального слоя, где он может оказывать сопротивление срезывающему усилию.

Влияние сучков в стойках также зависит от относительных размеров сучков и стойки и от расположения их. В тех случаях, когда устойчивость является решающим фактором (при боль-

Штриховкой показан размер максимально допускаемых сучков от середины к торцам и от ребер к нейтральной линии. Максимальный допустимый сучок в какой-либо части балки должен быть в соответствующей пропорции между допустимыми сучками в середине и у ребра.



Фиг. 10. Схема к таблице градации сортов материала

Таблица 14

Максимальные допустимые дефекты

| Градация сортов | Сучки   |                |             |  |             |   |                 | Трещины     |  | Косослой        |                  |
|-----------------|---|----------------|-------------|--|-------------|---|-----------------|-------------|--|-----------------|------------------|
|                 | Узкая, или горизонтальная, сторона бруса      |                |             |  |             | Широкая, или вертикальная, сторона бруса      |                 | Торцевые    |  |                 | На всех сторонах |
|                 | Суммарный диаметр в центральной части $1/2 L$ |                |             | Максимальный диаметр в центральной части $1/3 L$ |             | Суммарный диаметр в центральной части $1/2 L$ |                 |             | Максимальный диаметр в центральной части $1/3 L$ |                 |                  |
|                 | в долях ширины                                | в долях ширины | предел в мм | в долях ширины                                   | предел в мм | в долях высоты                                | в долях высоты  | предел в мм | в долях ширины                                   | в долях ширины  | наклон           |
| $S_1$           | $\frac{b}{2}$                                 | $\frac{b}{8}$  | 18          | $\frac{b}{4}$                                    | 37          | $\frac{h}{2}$                                 | $\frac{h}{8}$   | 37          | $\frac{b}{8}$                                    | $\frac{2b}{9}$  | $\frac{1}{20}$   |
| $S_2$           | $b$   | $\frac{b}{4}$  | 37          | $\frac{b}{2}$                                    | 75          | $h$   | $\frac{h}{4}$   | 75          | $\frac{b}{4}$                                    | $\frac{1}{3} b$ | $\frac{1}{15}$   |
| $S_3$           | $\frac{3b}{2}$                                | $\frac{3b}{8}$ | 56          | $\frac{3b}{4}$                                   | 112         | $\frac{3}{2} h$                               | $\frac{3}{8} h$ | 112         | $\frac{3}{8} b$                                  | $\frac{4}{9} b$ | $\frac{1}{11}$   |
| $S_4$           | $2b$  | $\frac{b}{2}$  | 75          | $b$  | 150         | $2h$  | $\frac{h}{2}$   | 150         | $\frac{b}{2}$                                    | $\frac{5b}{9}$  | $\frac{1}{8}$    |

шой длине стойки), влияние сучков относительно невелико; с увеличением сжимающих напряжений влияние сучков увеличивается.

Влияние неправильности направления волокон древесины от сучка (даже если сам сучок отошел при обработке) будет сказываться аналогично косослою.

На основании изучения влияния недостатков строения древесины Лесное ведомство США предложило градацию сортов материала, представленную в табл. 14 согласно схеме фиг. 10.

$L$  — длина материала;

$b$  — ширина узкой, или горизонтальной, стороны;

$h$  — высота широкой, или вертикальной, стороны.

Сучки, указанные на фиг. 10, слева от центральной линии для сорта 2-го допустимы, а справа — недопустимы, размеры даны в миллиметрах и в долях ширины и высоты сечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванин С. И., Дровесниоведение, 1934 г.
2. Кротов Е. Г., Технология дерева, 1934 г.
3. Монрой И. А., Дровесина, 1933 г.
4. Сидоров Н. Я., Строение дровесины и ее физико-механические свойства, 1933 г.
5. Кузнецов И. И., Технология дерева, том I, ч. I и II, 1932 г.
6. Перельгин Л. М. и Певцов А. Х., Механические свойства и испытания дровесины, 1934 г.
7. Савков Е. И., Исследования физико-механических свойств дровесины сосны, 1930 г.
8. Савков Е. И., Методы физико-механических испытаний дровесины, 1931 г.
9. Савков Е. И. и Мухин Г. В., Исследование модуля упругости дровесины сосны, 1931 г.
10. Флаксерман А. Н., Влияние наклона волокон на физико-механические свойства дровесины сосны, 1931 г.
11. Сборник ЦНИМОД, Физико-механические свойства дровесины, вып. III, 1934 г.
12. То же, Физико-механические свойства дровесины дуба, лиственницы, березы и сосны. Сборник 3, 1934 г.
13. То же, К вопросу о замене дефицитных пород дровесины, 1933 г.



Инж. В. В. БОЛЬШАКОВ

## II. РАСТЯЖЕНИЕ

## 1. Лабораторные данные

В работе древесины на растяжение особенно резко **выявляется** ее неоднородность (анизотропность). Для хвойных пород например сопротивление растяжению вдоль волокон в 10—30 раз **выше** сопротивления растяжению поперек волокон. Этим главным образом и объясняется большое влияние на сопротивление разрыву вдоль волокон таких факторов, как косослой, неправильная распиловка и присучковое отклонение волокон.

## 1) Растяжение вдоль волокон

Ориентировочные данные о величине временного сопротивления древесины растяжению вдоль волокон приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, эта величина колеблется в весьма широких пределах, составляя для сосны в среднем 700—800 кг/см<sup>2</sup>.

Временное сопротивление древесины одной и той же породы почти пропорционально ее объёмному весу. Для сосны эта зависимость представлена графически на фиг. 1.

Зависимость между временным сопротивлением и влажностью показана на фиг. 2.

Значение модуля упругости на растяжение вдоль волокон подобно временному сопротивлению также весьма непостоянно (табл. 2). На фиг. 3 дана зависимость между модулем упругости  $E$  авиационной сосны и ее объёмным весом; на фиг. 4—зависимость между модулем упругости  $E$  и влажностью при постоянном объёмном весе. В обоих случаях, как это установлено работами ЦАГИ, зависимость прямолинейная. В ТУ и Н 1931 г. расчетный модуль упругости на растяжение вдоль волокон (а также на сжатие и изгиб) принят независимо от породы согласно табл. 3.

Таблица 1

Временное сопротивление дерева растяжению вдоль волокон

|            | Порода          | Баушингер     |  | Баумап        |  |
|------------|-----------------|---------------|--|---------------|--|
|            |                 | влажность в % | временное сопротивление в кг/см <sup>2</sup> | влажность в % | временное сопротивление в кг/см <sup>2</sup> |
| Хвойные    | Сосна . . . . . | от 13 до 18   | 146—690—1660                                 | 12            | 375—900—1797                                 |
|            | Ель . . . . .   |               |  | 12            | 453—1684                                     |
|            | Пихта . . . . . | —             | —  | 12            | 475—860—1181                                 |
| Лиственные | Дуб . . . . .   | —             | —  | 12            | 491—1080—1682                                |
|            | Бук . . . . .   | —             | —  | 12            | 1345—1600—1973                               |
|            | Ясень . . . . . | —             | —  | —             | —  |

Таблица 2

Модуль упругости дерева

| № п/п | Исследователь            | Порода          | Влажность в % | Модуль упругости в кг/см <sup>2</sup> | Примечания   |   |
|-------|--------------------------|-----------------|---------------|---------------------------------------|--|---|
| 1     | Баушингер                | Ель . . . . .   | 16            | 39 000—90 000—143 000                 |  |   |
|       |                          | Сосна . . . . . | 15            | 39 000—103 000—157 000                |  |   |
| 2     | Баумап                   | Ель . . . . .   | 12            | 160 000                               |  |   |
|       |                          | Сосна . . . . . | 12            | 166 000                               |  |   |
|       |                          | Дуб . . . . .   | 12            | 67 000—156 500                        |  |   |
|       |                          | Бук . . . . .   | 12            | 185 000                               |  |   |
| 3     | ЦАГИ <sup>1</sup> (ВИАМ) | Сосна . . . . . | 10            | 122 000—194 000                       | Для авиалеса при удельном весе $\gamma_{15}$ = от 0,4 до 0,6 |   |
|       |                          |                 | 15            | 116 000—180 000                       |  |   |
|       |                          | Ясень . . . . . | 10            | 134 000—179 000                       |  |   |
|       |                          |                 | 15            | 125 000—163 000                       |  |   |
|       |                          |                 | 20            | 116 000—146 000                       |  |   |
|       |                          | Дуб . . . . .   | 10            | 121 000—188 000                       |  | Для авиалеса при удельном весе $\gamma_{15}$ = от 0,6 до 0,8.<br>Среднее $E = 140 000$ кг/см <sup>2</sup> при $\gamma_{15} = 0,7$ |
|       |                          |                 | 15            | 113 000—175 000                       |  |   |
|       |                          |                 | 20            | 106 000—162 000                       |  |   |

<sup>1</sup> Савков Е. И. и Мухин Г. В., Исследование модуля упругости древесины сосны, Труды ЦАГИ, вып. 107. Мухин Г. В., Исследование модуля упругости древесины ясеня и дуба, Труды ВИАМ, вып. 11.

Таблица 3

Значения модуля упругости на растяжение вдоль волокон согласно ТУ и Н

| Влажность дерева                          | Воздушно-сухое 12—18% | Полусухое 18—23% | Сырое 23—45% |
|---|-----------------------|------------------|--------------|
| Модуль упругости $E$ в кг/см <sup>2</sup> | 110 000               | 100 000          | 80 000       |

личие сердцевинных лучей, что особенно сильно сказывается в дубе.

Весьма низкое допускаемое напряжение  $[n_+]_{\perp}$  определяется возможностью образования в дереве при усушке воздушных трещин.

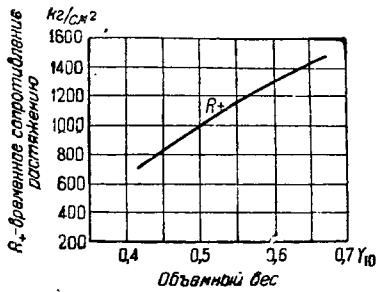
3) Растяжение под углом

Временное сопротивление растяжению под углом  $\alpha$  в функции от временного сопротивления растяжению вдоль и поперек волокон может быть выражено формулой <sup>2</sup>:

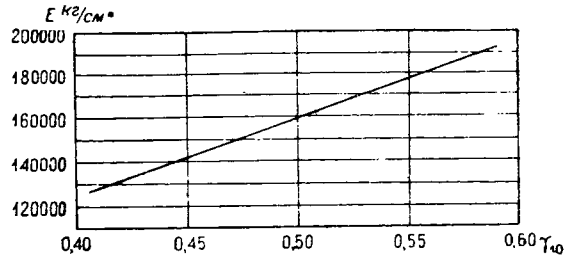
Таблица 4

Временное сопротивление дерева растяжению поперек волокон

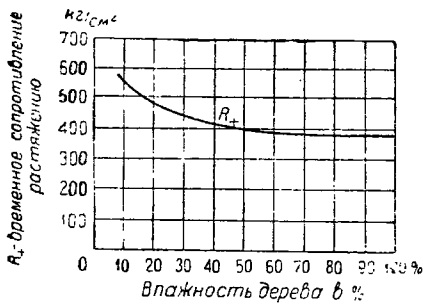
| Породы дерева | Временное сопротивление растяжению в кг/см <sup>2</sup> в направлениях: |                |            | Процентное соотношение между временным сопротивлением в направлениях: |                |            | Примечание  |
|---------------|---|----------------|------------|---|----------------|------------|---|
|               | продольном  | тангенциальном | радиальном | продольном  | тангенциальном | радиальном |   |
| Сосна         | 786—1 712   | 19—24          | 19—59      | 100   | 2,4            | 4,1        | Временное сопротивление вдоль волокон принято за 100% |
| Ель           | 1 423—1 571   | 26—40          | 34—92      | 100   | 2,2            | 4,2        |   |
| Иель          | 946—1 579   | 72—146         | 98—153     | 100   | 8,5            | 9,2        |   |
| Дуб           | 680—724   | 33—95          | 68—198     | 100   | 10,7           | 22,6       |   |



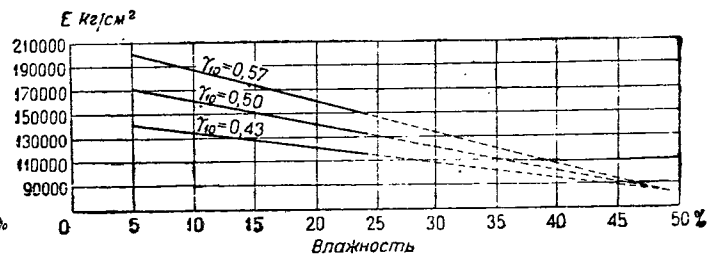
Фиг. 1. Зависимость между временным сопротивлением растяжению и объемным весом сосны



Фиг. 3. Зависимость модуля упругости  $E$  на растяжение авиационной сосны от ее объемного веса при влажности 10%



Фиг. 2. Зависимость между временным сопротивлением растяжению и влажностью строительного дерева



Фиг. 4. Зависимость между влажностью и модулем упругости  $E$  на растяжение авиационной сосны;  $\gamma$  — объемный вес при 10% влажности

2) Растяжение поперек волокон

В табл. 4 приведены величины временного сопротивления растяжению поперек волокон (в радиальном и тангенциальном направлениях) различных пород дерева по данным Бауман-Ланга <sup>1</sup>. Некоторое увеличение  $R_{\perp}$  в радиальном направлении по сравнению с  $R_{\perp}$  в тангенциальном направлении (табл. 4) объясняется на-

$$R_{\alpha} = \frac{R_{\parallel}}{1 + \left(\frac{R_{\parallel}}{R_{\perp}} - 1\right) \sin^2 \alpha} \text{ кг/см}^2, \quad (1)$$

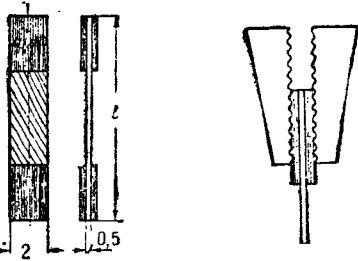
где  $R_{\alpha}$  — временное сопротивление растяжению под углом;

$R_{\parallel}$  — временное сопротивление растяжению вдоль волокон;

<sup>1</sup> Baumann-Lang, Das Holz als Baustoff, 1927 г.

<sup>2</sup> Выведена изж. Г. Г. Тахтамышевм.

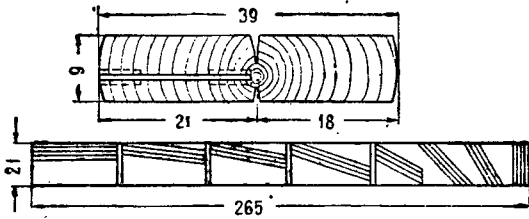
$R_{\perp}$  — временное сопротивление растяжению поперек волокон;  
 $\alpha$  — угол между направлениями волокон и растягивающей силы.



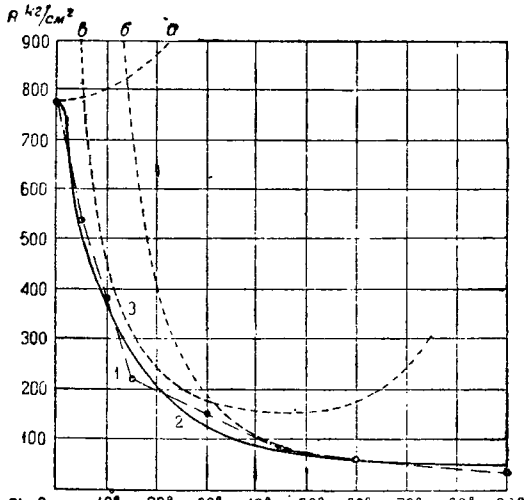
Форма и размеры образца. Для углов от 0° до 15°  $l = 450$ ; для углов от 30° до 90°  $l = 200$

Закрепление концов образца в зажимах машины

Фиг. 5. Лабораторный образец для испытания на растяжение



Фиг. 6. Схема выборки образцов из доски



1 — по данным лабораторных испытаний СДК ЦНИПС  
 $R_{\perp}$   
 2 — по формуле:  $R_{\alpha} = \frac{R_{\perp}}{1 + \left(\frac{R_{\parallel}}{R_{\perp}} - 1\right) \sin^2 \frac{1}{2} \alpha}$   
 3 — кривые минимальных напряжений (а), (б), (в).

Фиг. 7. Временное сопротивление сосны растяжению в зависимости от угла наклона  $\alpha$  волокон к растягивающему усилию

Лабораторные испытания ЦНИПС, послужившие основанием для вывода этой формулы, проводились с образцами, форма и размеры которых изображены на фиг. 5. На фиг. 6 дана схема

выборки образцов из доски. Материал — авиационная сосна.

На фиг. 7 представлен график с тремя кривыми, дающими характер изменения временного сопротивления сосны растяжению в зависимости от угла  $\alpha$ .

Первая (опытная) кривая 1 проведена по средним точкам, полученным при лабораторных испытаниях.

Вторая кривая 2 построена по вышеуказанной формуле для  $R_{\alpha}$ , причем  $R_{\parallel}$  приравнено в числом выражению временному сопротивлению, полученному при испытаниях для  $\alpha = 0$ , а  $R_{\perp}$  принято равным 0,06  $R_{\parallel}$ .

Третья кривая 3 — так называемая кривая минимальных напряжений — построена на основании теоретической зависимости напряжения от угла наклона косоугольной площадки в напряженном материале<sup>1</sup>.

Обозначая напряжение в поперечном сечении образца, растягиваемого силой  $N_{\perp}$ , через  $n_{\alpha} =$

$\frac{N_{\perp}}{F}$ , где  $F$  — площадь поперечного сечения, и разлагая это напряжение по двум взаимно перпендикулярным направлениям: вдоль волокон (нормально наклонной площадке 1—1) и поперек волокон (нормально площадке 2—2) (фиг. 8), получим следующие зависимости:

$$n_{\alpha} = \frac{n_{\parallel}}{\cos^2 \alpha}; \quad (2)$$

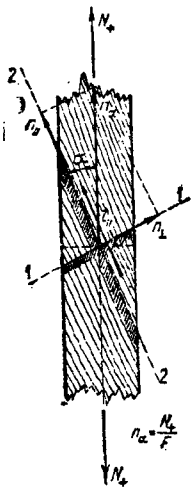
$$n_{\alpha} = \frac{n_{\perp}}{\sin^2 \alpha}; \quad (3)$$

$$n_{\alpha} = \frac{2t_{\parallel}}{\sin 2\alpha}, \quad (4)$$

где  $n_{\alpha}$  — напряжение растяжения под углом  $\alpha$ ;  
 $n_{\parallel}$  — напряжение растяжения вдоль волокон по площадке 1—1;  
 $n_{\perp}$  — напряжение растяжения поперек волокон по площадке 2—2;  
 $t_{\parallel}$  — напряжение скалывания вдоль волокон по площадке 2—2.

Пологая в этих уравнениях  $n_{\alpha} = R_{\alpha}$  и строя соответствующие кривые<sup>2</sup>, получим, что для значения каждого данного угла  $\alpha$  сопротивление образца разрыву будет определяться наименьшим из трех значений  $n_{\alpha}$ , даваемых этими кривыми. Результирующая кривая 3 состоит из отрезков, дающих минимальные значения  $n_{\alpha}$ .

Как видно из графика фиг. 7, зависимость между сопротивлением растяжению и углом  $\alpha$ , получаемая по ф-ле (1) (кривая 2), вполне удовлетворительно согласуется с теоретической кри-

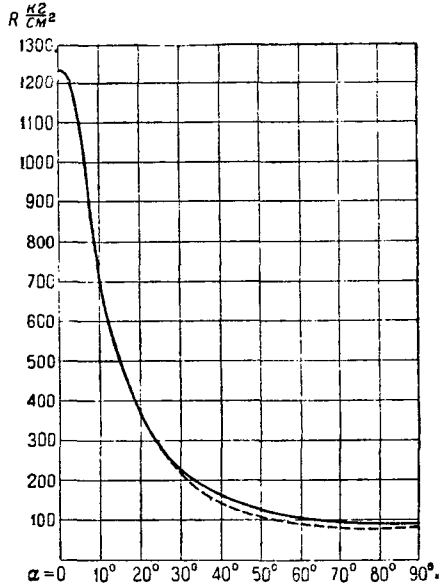


Фиг. 8. Распределение напряжений в растягиваемом образце с наклонным направлением волокон

<sup>1</sup> Флаксерман, Влияние наклона волокон на механические свойства сосны, изд. 1931 г.

<sup>2</sup> При построении кривых по уравнениям (2), (3) и (4) приняты  $n_{\parallel} = R_{\parallel} = 774 \text{ кг/см}^2$ ,  $n_{\perp} = R_{\perp} = 0,06 R_{\parallel} = 46,4 \text{ кг/см}^2$  и  $t_{\parallel} = 77,8 \text{ кг/см}^2$ , причем напряжение на скалывание взято на основании параллельно проведенного испытания на скалывание нормальных образцов с приведением их к 17% влажности.

ной 3 минимальных напряжений и опычными данными как ЦНИИС (кривая I), так и иностранных исследователей. На фиг. 9 пунктиром нанесена кривая по данным проф. Баумана, сплошной линией — соответствующая кривая по ф-ле (1).



Пунктир — лабораторные данные проф. Баумана, сплошная кривая — по формуле:

$$R_{\alpha} = \frac{R_{\parallel}}{1 + \left( \frac{R_{\parallel}}{R_{\perp}} - 1 \right) \sin^2 \alpha}$$

при  $R_{\parallel}$  и  $R_{\perp}$ , взятых по вышеуказанным лабораторным данным проф. Баумана;  
 $R_{\parallel}$  — временное сопротивление вдоль волокон;  
 $R_{\perp}$  — временное сопротивление поперек волокон

Фиг. 9. Зависимость между временным сопротивлением растяжению готтардской шахты и углом  $\alpha$  наклона волокон к направлению растягивающей силы

## 2. Растяжение в элементах деревянных конструкций

### 1) Допускаемые напряжения

В табл. 5 приведены основные допускаемые напряжения на равномерное растяжение элементов из сосны и дуба, устанавливаемые ЕН для защищенных сооружений, возводимых из здорового воздушно-сухого леса (влажностью не более 18%) с небольшим количеством сучков.

Таблица 5

Основные допускаемые напряжения на растяжение в  $\text{кг/см}^2$  для воздушно-сухой сосны и дуба

| Порода | Допускаемые напряжения в $\text{кг/см}^2$ |                 |
|--------|---|-----------------|
|        | вдоль волокон                             | поперек волокон |
| Сосна  | 100                                       | 2               |
| Дуб    | 180                                       | 6               |

Сравнительно низкие значения допускаемых напряжений на растяжение (для сосны напри-

мер  $[n_{+}] = 100 \text{ кг/см}^2$  при временном сопротивлении  $R_{+} \approx 700-800 \text{ кг/см}^2$ , тогда как для той же породы  $[n_{-}] = 100 \text{ кг/см}^2$  при  $R_{-} = 300-400 \text{ кг/см}^2$ ) обуславливаются:

а) сильным влиянием на сопротивление древесины растяжению неоднородности ее строения при наличии косослоя, присучкового отклонения волокон и т. п.;

б) большим влиянием, чем при сжатии, всякого рода местных пороков, ослабляющих отдельные сечения.

При установлении допускаемых напряжений на растяжение учтена также существенная разница между сопротивлением разрыву лабораторных образцов и работой на растяжение элементов деревянных конструкций в натуре, являющаяся следствием влияния абсолютных размеров сечений, различных пороков, местных ослаблений, напряжений, связанных с вынужденными деформациями отдельных элементов, и пр.

Кажущийся весьма большим коэффициент запаса на растяжение по отношению к данным лабораторных испытаний в действительности значительно меньше.

### 2) Центральное растяжение

При растяжении элементов деревянных конструкций силами, приложенными вдоль оси элемента, и при симметричном расположении ослаблений расчет производится по формуле для центрального растяжения:

$$\frac{N_{+}}{F_{\text{нетто}}} \leq [n_{+}], \quad (5)$$

где  $N_{+}$  — расчетное осевое растягивающее усилие в элементе;

$F_{\text{нетто}}$  — площадь нетто наиболее ослабленного сечения;

$[n_{+}]$  — допускаемое напряжение на растяжение вдоль волокон.

Как указывалось выше, влияние механических пороков на работу растянутых элементов деревянных конструкций в натуре весьма велико.

В целом ряде случаев наличие пороков являлось причиной аварий деревянных конструкций. Сопротивление дерева разрыву с увеличением угла наклона волокон по отношению к действующему усилию быстро падает; уже при угле наклона  $\alpha = 10^{\circ}$  временное сопротивление уменьшается на 50%, а при угле  $\alpha = 30^{\circ}$  оно составляет всего лишь 20% от временного сопротивления растяжению вдоль волокон.

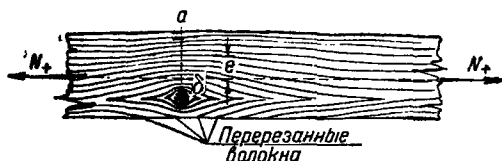
В одной из стропильных ферм на гладких кольцевых шпонках элемент нижнего пояса разорвался при расчетной нагрузке в месте ослабления доски кольцевой дорожкой вследствие наличия значительного косослоя и сучка на кромке доски. Косослой в месте разрушения доходил до 30 см на 1 пог. м ( $\alpha \approx 17^{\circ}$ ).

Это указывает на недопустимость косослойного леса для растянутых элементов и на настоятельную необходимость применения в этом случае тщательно отобранного прямослойного материала.

Меньшее значение, чем косослой, вредности работы древесины на растяжение нац

<sup>1</sup> Согласно ТУ п II в ответственный струнный допускается косослой не более (угол  $\alpha \leq 3^{\circ}$ ).

ков. Помимо непосредственного уменьшения рабочей площади поперечного сечения одностороннее расположение сучка вызывает, как показано на фиг. 10, эксцентричное приложение усилия к работающей части сечения  $a-b$  и появление изгибающего момента. Поэтому вследствие наличия сучка, несмотря на центральное приложение усилия, растянутый элемент работает эксцентрично.



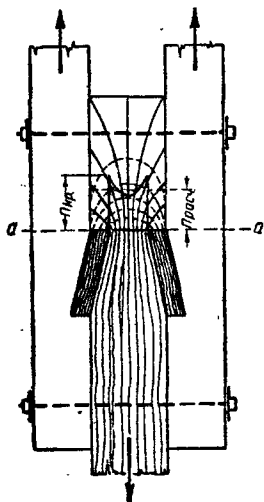
Фиг. 10. Влияние сучка на работу растянутого элемента

Отклонение волокон около сучка и выпадение волокон из работы при опиловке доски могут весьма существенно снизить сопротивление последней растягивающим усилиям. Особо опасен случай, когда почти все волокна оказываются перерезанными, представлен на фиг. 11.



Фиг. 11. Ослабление кромки растянутого элемента

При наличии в растянутых элементах деревянных конструкций местных ослаблений, хотя бы и расположенных симметрично, распределение напряжений по площади ослабленного сечения будет все же неравномерным (в большей или меньшей степени) вследствие появления так называемых местных напряжений в местах резкого изменения сечения, весьма значительных при наличии приложенного здесь же усилия.



Фиг. 12. Характер распределения растягивающих напряжений в ослабленном косяк призматической шпонкой сечения  $a-a$

На фиг. 12 представлено симметричное ослабление растянутого элемента косяки шпонками с указанием характера распределения в этом случае силовых линий и растягивающих нормальных напряжений в ослабленном поперечном сечении  $a-a$ .

Следует отметить еще один фактор, вызывающий дополнительные напряжения в растянутых элементах стержневых систем.

Обычно нижний пояс деревянных ферм рассчитывается на центральное растяжение в пред-

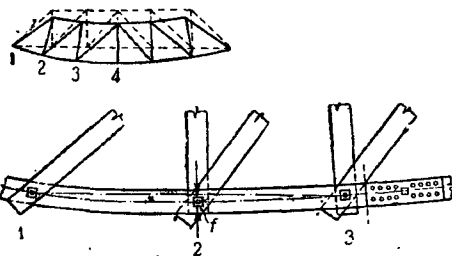
положении идеальных шарниров в узлах, тогда как в действительности в большинстве случаев он выполняется в виде неразрезного бруса. Длина последнего определяется сортаментом лесоматериалов и часто равна длине нескольких панелей.

При упругих и рыхлых деформациях (прогибах) системы в неразрезном нижнем поясе возникают дополнительные напряжения от изгиба, достигающие своих наибольших значений в узлах, где нижний пояс, как правило, имеет ослабления врубками, шпонками и т. п.

Обычно эти дополнительные напряжения расчетом не учитываются — отчасти вследствие затруднительности точного их учета, отчасти потому, что при нормальных схемах сквозных деревянных конструкций эти дополнительные напряжения невелики.

На фиг. 13 дан пример стропильной фермы, нижний пояс которой при ее прогибе испытывает вследствие своей неразрезности дополнительные напряжения от изгиба<sup>1</sup>.

Все перечисленные факторы, трудно поддающиеся учету, весьма сильно снижают в реальных условиях работы сооружения те коэффициенты запаса, которые имеют место при растяжении элементов в лабораторных условиях.



Фиг. 13. Изгиб неразрезного нижнего пояса стропильной фермы как результат прогиба.

Чтобы обеспечить необходимую прочность растянутых элементов деревянных конструкций, необходимо соблюдение следующих условий.

а) Следует весьма осторожно подходить к выбору соответствующих допускаемых напряжений, учитывая, что они являются критерием для оценки только некоторых средних напряжений, получаемых в предположении равномерного распределения напряжений по сечению, и что наибольшие фактические напряжения в отдельных случаях весьма значительно (в несколько раз) превосходят эти средние расчетные напряжения.

б) Необходимо учитывать возможное влияние на растянутые элементы деформаций системы, а при назначении генеральных размеров последней и при проектировании отдельных ее частей стремиться свести это влияние до минимума путем надлежащего конструирования.

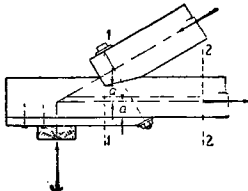
в) Не следует допускать при проектировании деревянных конструкций значительных местных ослаблений сечения растянутых элементов (при симметричном ослаблении более 50%, при несимметричном — более 40%).

г) Следует избегать несимметричного ослабления сечений рабочих элементов, вызывающего

<sup>1</sup> При учете этих напряжений расчет следовало бы вести по формуле для сложного сопротивления, определяя напряжения от изгиба на основе замеренных или вычисленных деформаций узлов.

внецентренное растяжение в опасном (ослабленном) сечении. В том случае, если такое ослабление неизбежно, надо обеспечивать равномерное распределение напряжений в наиболее опасном ослабленном сечении соответствующим конструированием.

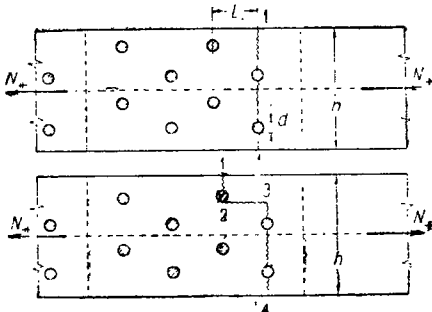
Примером может служить изображенный на фиг. 14 опорный узел брусовой стропильной фермы, решенный на лобовой врубке, в котором равномерное растяжение в опасном ослабленном сечении 1—1 затянжки обеспечено центрированной опорной площадкой.



Фиг. 14. Центрировка по ослабленному сечению, обеспечивающая равномерное растяжение в ослабленном сечении 1—1

д) При расчете растянутых элементов, имеющих ряд ослаблений, следует учитывать возможность разрушения не только по ослабленному сечению 1—1 (фиг. 15), но и по ломаной линии 1—2—3—4.

Нетрудно подсчитать длину  $l$  между осями нагелей, необходимую из условия равнопрочности на разрыв растянутого элемента по ослабленным сечениям 1—1 и 1—2—3—4.



Фиг. 15. Возможные линии разрыва ослабленного нагелями растянутого элемента

Сопротивление разрыву:  
по сечению 1—1:

$$N'_+ = b(h - 2d)[n_+];$$

по сечению 1—2—3—4:

$$N''_+ = b(h - 3d)[n_+] + l[t].$$

Полагая  $N'_+ = N''_+$ , из условия равнопрочности получим:

$$d[n_+] = l[t],$$

откуда

$$l = \frac{d[n_+]}{[t]}$$

при  $[n_+] = 100 \text{ кг/см}^2$  и  $[t] = 12 \text{ кг/см}^2$  для воздушно-сухой сосны  $l \approx 8d^1$ .

Этот результат указывает на нецелесообразность применения шахматного размещения на-

гелей для получения более компактного стыка<sup>2</sup>, так как такое размещение потребует большей длины стыка, чем прямая расстановка нагелей, вследствие необходимости обеспечить ослабленный элемент от косога разрыва. Вместе с тем шахматная расстановка без поперечного сближения рядов и с учетом ослабления по ломаной  $l$  и  $n$  и представляется вполне целесообразной.

е) В процессе производства работ по изготовлению деревянных конструкций следует производить тщательный отбор лесоматериала для растянутых элементов с целью обеспечить их от вредного влияния местных пороков и дефектов.

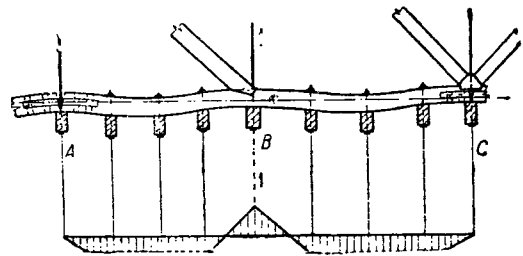
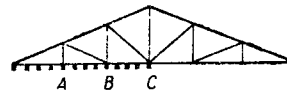
### 3) Внецентренное растяжение

Выше мы видели, что в целом ряде случаев элементы деревянных конструкций одновременно с растяжением подвергаются изгибу. Последний может быть вызван:

а) акцентрично приложенной растягивающей силой;

б) несимметричным ослаблением сечения;

в) нагрузкой элемента, помимо осевого растягивающего усилия, силами, приложенными нормально к оси элемента.



Фиг. 16. Работа на сложное сопротивление сжатия верхнего пояса стропильной фермы вследствие местной нагрузки в пазах от прогонов подвесного потолка

Расчет в этом случае производится по формуле сложного сопротивления:

$$\frac{N_+}{F_{\text{нетто}}} + \frac{M[n_+]}{W_{\text{нетто}}[n_+]} \leq [n_+], \quad (6)$$

где  $N_+$  — осевое растягивающее усилие в элементе;

$F_{\text{нетто}}$  — площадь нетто опасного (ослабленного) сечения;

$M$  — изгибающий момент от действия сил, нормальных к оси бруса, или внецентренного приложения силы  $N_+$ ; в последнем случае

$$M = N_+ e,$$

где  $e$  — эксцентриситет силы  $N_+$  относительно оси ослабленного сечения;

$W_{\text{нетто}}$  — момент сопротивления опасного (ослабленного) сечения относительно той же оси;

<sup>1</sup> Справедливо только при данном числе рядов.

<sup>2</sup> Для всех нагелей кроме гвоздей.

$[n_{\text{p}}]$  — допускаемое напряжение на растяжение;

$[n_{\text{и}}]$  — допускаемое напряжение на изгиб.

Примером внецентренного растяжения в результате эксцентричного приложения растягивающей силы может служить основное сечение № 2 несимметрично ослабленного нижнего пояса фермы, опорный узел которой изображен на фиг. 14.

Случай одновременного действия растяжения и поперечного изгиба представлен на фиг. 16. Вследствие размещения прогонов подвесного потолка между узлами нижний пояс стропильной фермы работает на сложное сопротивление. Ввиду неразрезности пояса на протяжении двух панелей опасным сечением является сечение 1—1

в узле В, где мы имеем  $M_{\text{max}}$  при наибольшем ослаблении сечения.

Обычно напряжения от изгиба достигают значительной величины (по сравнению с основными напряжениями от центрального растяжения), что требует существенного увеличения сечения пояса, а потому описанное решение, как правило, не рекомендуется.

Наконец в ряде случаев изгиб растянутых элементов может явиться следствием пластических деформаций и сопровождающего их прогиба всей системы в целом. Возможность эта, не учтенная при проектировании, в особенности при наличии значительных местных ослаблений растянутых элементов, нередко вызывает аварии деревянных конструкций.

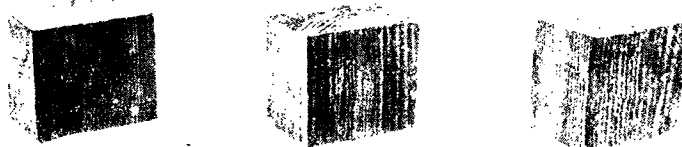
*Инж. В. П. СИНИЦЫН*

### III. СЖАТИЕ

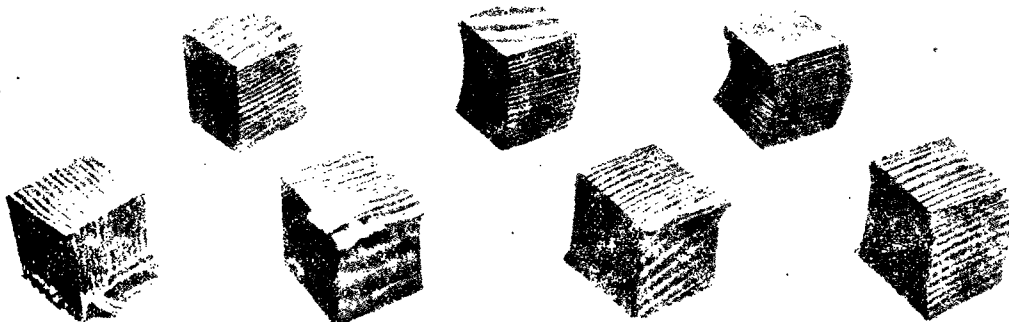
#### 1. Лабораторные данные

##### 1) Сжатие вдоль волокон

Разрушение древесины при сжатии происходит вследствие местного продольного изгиба волокон и вдавливания твердых летних волокон в более мягкие весенние. Характер разрушения образцов от сжатия виден на фиг. 1.



Фиг. 1. Разрушение при сжатии вдоль волокон



Фиг. 2. Разрушение при сжатии под углом к волокнам

Крепость (временное сопротивление) древесины на сжатие для основных пород СССР можно в среднем принять: для сосны  $n_s = 400 \text{ кг/см}^2$  и для дуба  $n_d = 500 \text{ кг/см}^2$ . Величина временного сопротивления древесины сжатию зависит от условий произрастания, величины

объемного веса, места взятия образца в стволе, влажности<sup>1</sup> и т. д.

##### 2) Сжатие под углом к направлению волокон

Сжатие под углом к направлению волокон может иметь место например в следующих случаях:

а) при косослое (волокна наклонены в тангенциальной плоскости);

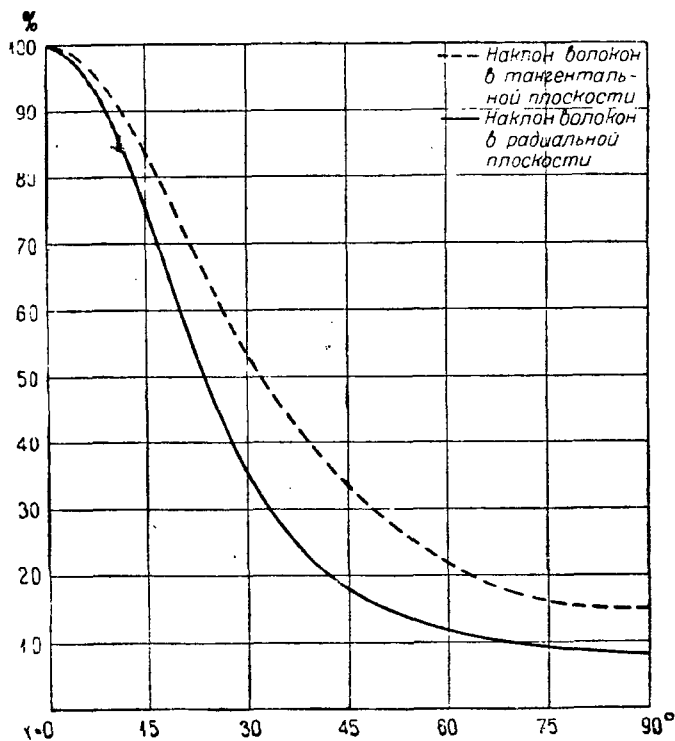
б) при неправильной распиловке (волокна наклонены обычно в радиальной плоскости);

<sup>1</sup> Зависимость крепости древесины от этих факторов освещена в статье «Строение древесины и ее основные свойства» Е. И. Савкова.

в) в сопряжениях (врубки, нагельные и шишочные сопряжения), при пересечениях стоек с прогонами, в деревянных подкладках под фермы и других аналогичных случаях.

Сжимающая сила может при этом действовать под углом к направлению волокон, лежащим или в плоскости радиальной (по радиусу годовых слоев) или же тангенциальной (по касательной к годовым слоям).

В зависимости от величины этого угла меняется и характер разрушения образцов. При углах от  $0^\circ$  до  $5^\circ$  разрушение вызывается обычно местным выщипыванием волокон. При углах от  $10^\circ$  до  $45^\circ$  наблюдается разрушение от ярко выраженного скалывания. При углах более  $60^\circ$  после начала разрушения возможно дальнейшее увеличение нагрузки, так как сопротивляемость возрастает за счет уплотнения волокон древесины (фиг. 2). Величиной, характеризующей крепость древесины на сжатие под углом, является напряжение в момент начала разрушения образца. Этот момент легко отмечается на испытательной машине, совпадая с резким уменьшением сопротивляемости, и обуславливается сдвигом летних слоев по весенним или раздавливанием более слабых весенних слоев.



Фиг. 3. Зависимость крепости на сжатие от угла между направлениями силы и волокон

Результаты испытаний представлены в виде кривых на фиг. 3. Сплошная кривая соответствует углу наклона волокон в радиальной плоскости, пунктирная — в тангенциальной плоскости. Для исключения влияния влажности и других побочных причин сопротивление древесины при действии силы под углом выражено в процентах от сопротивления древесины при действии силы вдоль волокон.

Как для наклона волокон в тангенциальной плоскости, так и для наклона их в радиальной плоскости характерны резкое падение сопротивляемости при изменении угла наклона от  $0^\circ$  до  $50^\circ$ — $60^\circ$  и несколько замедленное падение ее при дальнейшем увеличении угла.

При нагружении образцов из хвойных пород под углом к направлению волокон в тангенциальной плоскости получены значительно большие разрушающие нагрузки, чем при нагружении под углом в радиальной плоскости. При действии силы перпендикулярно к направлению волокон крепость на сжатие составляет в случае действия силы тангенциально к годовым слоям при больших углах 15%, а в случае действия силы радиально всего лишь 8% от временного сопротивления сжатию вдоль волокон.

### 3) Предел пропорциональности и модуль упругости

Упругие свойства древесины характеризуются пределом пропорциональности  $n_{пр. проп}$  и модулем упругости  $E$ .

Величины предела пропорциональности, полученные различными исследователями для сжатия вдоль волокон, сильно разнятся. По опытам Ланга и других авторов предел пропорциональности достигает 50—75% от временного сопротивления сжатию. Ронцем было получено для хвойных пород значение  $n_{пр. проп} = 140 \text{ кг/см}^2$ . Обычно при расчетах берут среднее значение предела пропорциональности  $n_{пр. проп} = 120$ — $140 \text{ кг/см}^2$ .

Значения модуля упругости на сжатие  $E$  для хвойных пород по различным исследованиям колеблются в среднем между 105 000 и 178 000  $\text{кг/см}^2$ . Зависимость величины модуля упругости от объемного веса древесины и ее влажности дана в статье «Строение древесины и ее основные свойства» Е. П. Савнова.

Для воздушно-сухой сосны с влажностью 15% модуль упругости на сжатие принимается по нашим нормам:

$$E = 110\,000 \text{ кг/см}^2.$$

Для сжатия перпендикулярно к направлению волокон модуль упругости значительно меньше; в этом случае например по Бауману для сосны  $E = 5\,000$ — $6\,000 \text{ кг/см}^2$ .

## 2. Расчет сжатых элементов

### 1) Допускаемые напряжения

ТУ и Н принимают следующие основные допускаемые напряжения на сжатие: для сосны вдоль волокон  $[n_{\parallel}] = 100 \text{ кг/см}^2$ , поперек волокон —  $15 \text{ кг/см}^2$ , для дуба вдоль волокон  $[n_{\parallel}] = 130 \text{ кг/см}^2$ , поперек волокон —  $30 \text{ кг/см}^2$ .

Применение других пород дерева, а также условия влажности, марка древесины, степень защищенности сооружения, его класс и другие факторы учитываются введением соответствующих поправочных коэффициентов.



2) Расчет на центральное сжатие

Проверка сечений на центральное сжатие производится для наиболее ослабленного сечения по формуле:

$$\frac{N_-}{F_{\text{нетто}}} \leq [n_-],$$

где  $N_-$  — сжимающее усилие;

$F_{\text{нетто}}$  — площадь нетто наименьшего поперечного сечения (за вычетом всех ослаблений);  $[n_-]$  — допускаемое напряжение на сжатие для данной марки древесины, вида сооружения и пр.

В случае, если ослабление сечения произведено для помещения шинок, нагелей и других сопряжений, воспринимающих часть расчетного усилия  $N_-$ , последнее может быть соответственно уменьшено на эту часть.

Сжатие в чистом виде встречается весьма редко; обычно сжатие сопровождается продольным изгибом.

3) Продольный изгиб стержней сплошного сечения

При достаточной длине разрушение стержня происходит после потери устойчивости, сопровождающейся большими поперечными деформациями оси элемента. Разрушающая нагрузка в этом случае меньше нагрузки, которую мог бы выдержать элемент, работая на чистое сжатие, и зависит от его гибкости.

Величина критической силы при продольном изгибе для элемента, шарнирно опертого обоими концами, определяется обычно по следующим формулам:

а) При гибкости  $\frac{l}{r} > 100$  — по формуле Эйлера:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{l^2}. \quad (1)$$

где  $E$  — модуль упругости древесины на сжатие;

$I$  — наименьший момент инерции сечения;

$l$  — расчетная длина элемента.

б) При гибкости  $\frac{l}{r} < 100$  — по формуле Тетмайера:

$$n_{кр} = 293 - 1,94 \frac{l}{r}, \quad (2)$$

где  $n_{кр}$  — критическое напряжение в элементе. В зависимости от породы дерева и пр. формула Тетмайера может иметь другие численные значения входящих в нее величин.

Практически при расчете сжатых стоек на продольный изгиб вместо формул Эйлера и Тетмайера пользуются коэффициентами  $\varphi$  снижения допускаемых напряжений при продольном изгибе.

В этом случае расчет производится по формулам:

$$\frac{N_-}{F} \leq [n_-] \varphi \quad (3)$$

или

$$\frac{N_-}{F\varphi} \leq [n_-], \quad (4)$$

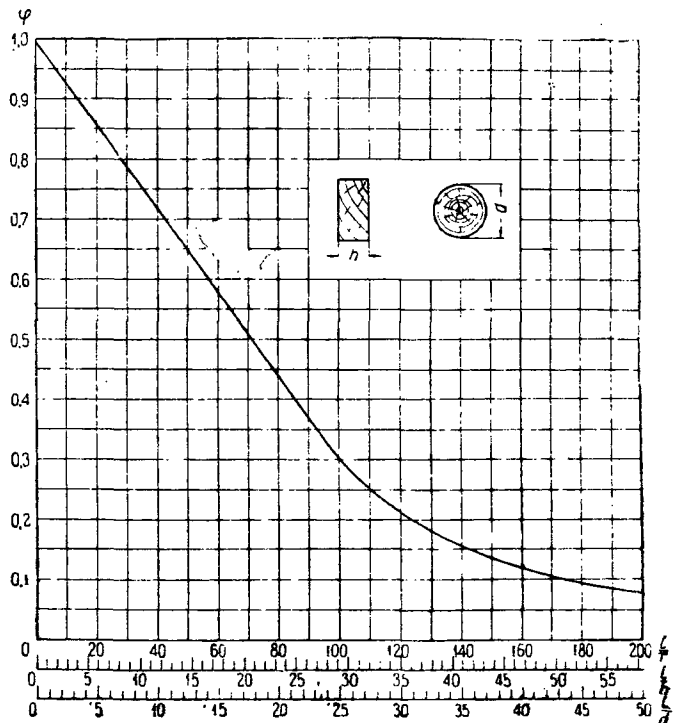
где  $N_-$  — сжимающее усилие;

$F$  — расчетная площадь, равная по ТУ и Н  $F_{\text{брутто}}$  всего сечения в том случае, если симметричное ослабление в опасном сечении не превышает 25%, или  $\frac{4}{3} F_{\text{нетто}}$  при ослаблении, большем 25%;

$[n_-]$  — допускаемое напряжение на сжатие;

$\varphi$  — коэффициент уменьшения напряжений при продольном изгибе, определяемый отношением критического напряжения к временному сопротивлению, т. е.:

$$\varphi = \frac{n_{кр}}{n_s}. \quad (5)$$



Фиг. 4. Расчетная кривая коэффициента  $\varphi$  по ТУ и Н

Для определения величины  $\varphi$  ТУ и Н дают следующие формулы:

для  $\frac{l}{r} \geq 100$ :

$$\varphi = \frac{3000}{\left(\frac{l}{r}\right)^2}; \quad (6)$$

для  $\frac{l}{r} \leq 100$ :

$$\varphi = 1,00 - 0,007 \frac{l}{r}. \quad (7)$$

Величину  $\varphi$  можно определять также по графику фиг. 4. Специальные исследования<sup>1</sup> показали,

<sup>1</sup> Флаксерман (ЦАГИ), Сивинцев (ЛНИИС) и др.

что значения  $\varphi$ , даваемые ТУ и Н, сильно уменьшены для гибкостей  $\frac{l}{r} < 100$ .

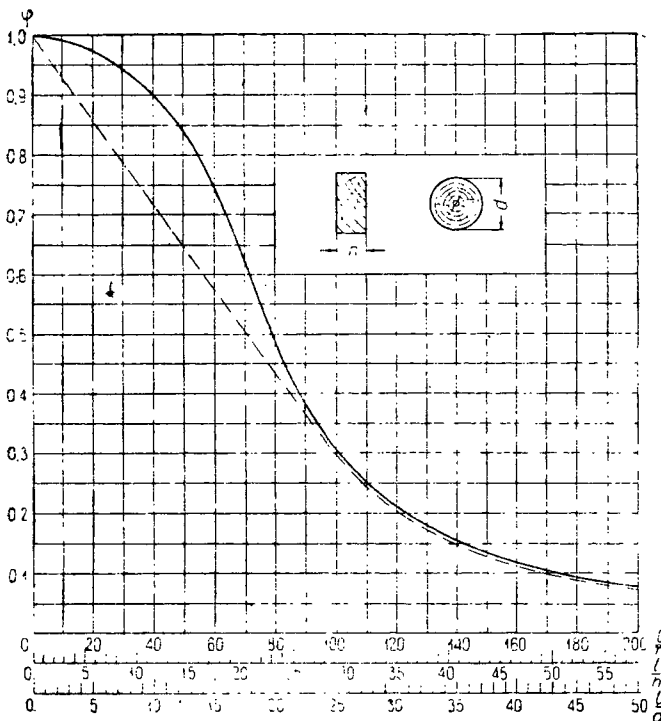
Разница между найденными величинами  $\varphi$  и значениями  $\varphi$  по ТУ и Н для гибкостей  $\frac{l}{r} = 20-60$  доходит до 30%.

В результате исследования ЦНИПС эмпирически получены следующие значения  $\varphi$ : для  $\frac{l}{r} > 80$ :

$$\varphi = \frac{3100}{\left(\frac{l}{r}\right)^2};$$

для  $\frac{l}{r} < 80$ :

$$\varphi = 1,00 - 0,0001 \frac{l}{r} - 0,0000337 \left(\frac{l}{r}\right)^2 - 0,00000057 \left(\frac{l}{r}\right)^3.$$



Фиг. 5. Кривая коэффициента  $\varphi$  по последним данным ЦНИПС

На фиг. 5 дана кривая  $\varphi$ , построенная по этим формулам, и для сравнения нанесена пунктиром кривая по ТУ и Н.

При ином (нешарнирном) закреплении концов стержня величина критической силы, а следовательно и коэффициент  $\varphi$  будет иной. Влияние характера закрепления учитывается тем, что вместо действительной длины элемента берут «расчетную» длину, которая получается умножением действительной длины на «коэффициент приведения», учитывающий характер закрепления концов, т. е.:

$$l_{расч} = k \cdot l,$$

где коэффициент  $k$  имеет следующие значения:  
а)  $k = 2$ , если один конец заделан, а другой свободно нагружен;

б)  $k = 1$ , если оба конца шарнирно закреплены;

в)  $k = 0,8$ , если один конец заделан, а другой закреплен шарнирно;

г)  $k = 0,65$ , если оба конца заделаны (фиг. 6).

При расчете и конструировании скатых стержней, заделанных одним или двумя концами, необходимо обеспечить восприятие изгибающего момента, появляющегося в месте заделки, путем соответствующих конструктивных мероприятий.

Момент, могущий возникнуть в сечении заделки, определяется по формуле:

$$M = W_{бруство} \frac{[n_n]}{[n_-]} \left(\frac{1}{\varphi} - 1\right) \frac{N}{F}, \quad (8)$$

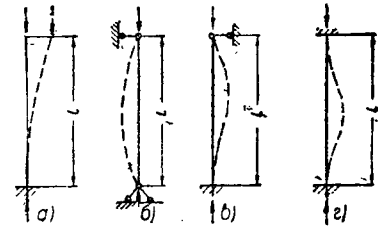
где  $W_{бруство}$  — момент сопротивления сечения;

$\varphi$  — коэффициент уменьшения напряжения;

$N$  — сжимающее усилие;

$F$  — площадь поперечного сечения.

Необходимо отметить трудность осуществления полной заделки деревянного элемента. Слабая сопротивляемость древесины смятию перпендикулярно к волокнам и возможность ее усушки приводят к повороту заделанного сечения. Поэтому при неизбежности заделки необходимо по возможности увеличивать плечо пары момента, чтобы уменьшить сминающие усилия.



Фиг. 6. Типы закрепления концов стержня

Проверка на продольный изгиб производится для опасного сечения по ф-лам (3) или (4).

Опасными сечениями являются:

а) для консольного (заделанного одним концом) стержня — сечения у заделки;

б) для стержня, шарнирно опертого обоими концами, — сечения в средней части длины;

в) для стержня, шарнирно опертого одним концом и заделанного другим, — сечения у заделки и сечения на  $\frac{1}{3}$  длины от шарнирного конца;

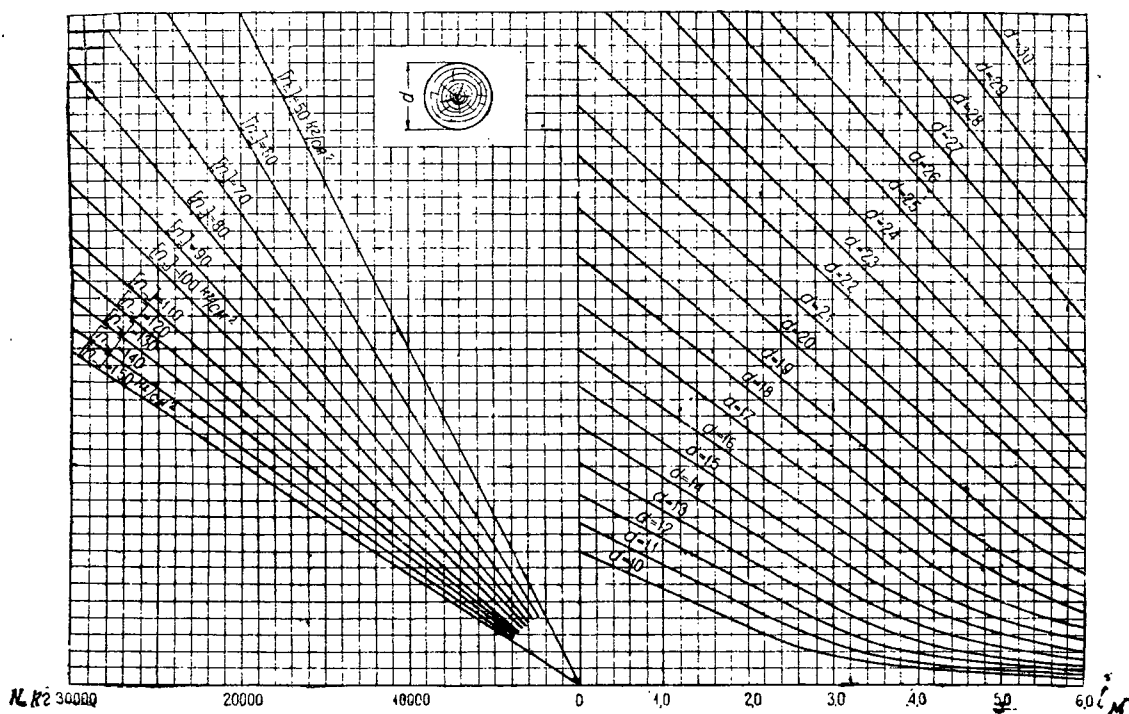
г) для стержня, заделанного обоими концами, — сечения у заделок и в средней части длины.

Кроме проверки на продольный изгиб обязательна проверка ослабленных сечений на простое сжатие. При этом должно удовлетворяться условие:

$$\frac{N}{F_{нетто}} \leq [n_-],$$

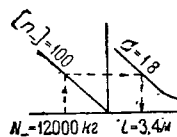
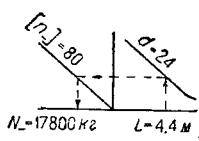
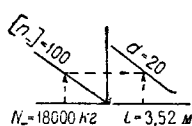
где  $F_{нетто}$  — площадь нетто стержня (за вычетом всех ослаблений).

Подбор сечений элементов на продольный изгиб можно производить по графикам фиг. 7, 8, 9.



Примеры пользования ном. бачмой

|                                |                                    |                                |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Дано:                          | Дано:                              | Дано:                          |
| $N = 18\,000 \text{ кг};$      | $l = 4,4 \text{ м};$               | $N = 12\,000 \text{ кг};$      |
| $l = 3,52 \text{ м};$          | $d = 24 \text{ см};$               | $d = 18 \text{ см};$           |
| $[n_-] = 100 \text{ кг/см}^2;$ | $[n_-] = 80 \text{ кг/см}^2;$      | $[n_-] = 100 \text{ кг/см}^2;$ |
| находим $d = 20 \text{ см}.$   | находим $N_- = 1\,780 \text{ кг}.$ | находим $l = 3,4 \text{ м}.$   |



Фиг. 7. Графики для расчета на продольный изгиб стержней круглого сечения

Пример расчета на продольный изгиб стержня сплошного сечения. Круглая стойка из воздушно-сухой сосны диаметром 18 см нагружена силой  $N_- = 8\,000 \text{ кг}$ . Длина стойки  $l = 3,6 \text{ м}$ ; опорные концы — шарнирные. Требуется проверить стойку на продольный изгиб и определить допускаемую сжимающую силу.

Отношение расчетной длины стержня (в данном случае равной его действительной длине) к диаметру:

$$\frac{l}{d} = \frac{360}{18} = 20.$$

По графику фиг. 4 для  $\frac{l}{d} = 20$  находим:

$$\varphi = 0,44.$$

Напряжение:

$$n_- = \frac{N}{F} = \frac{8\,000 \cdot 4}{3,14 \cdot 18^2} = 31,4 < 100 \cdot 0,44 = 44 \text{ кг/см}^2.$$

Наибольшая допускаемая сжимающая сила:

$$N_{\text{max}} = F [n_-] \varphi = \frac{3,14 \cdot 18^2}{4} \cdot 100 \cdot 0,44 = 11\,200 \text{ кг}.$$

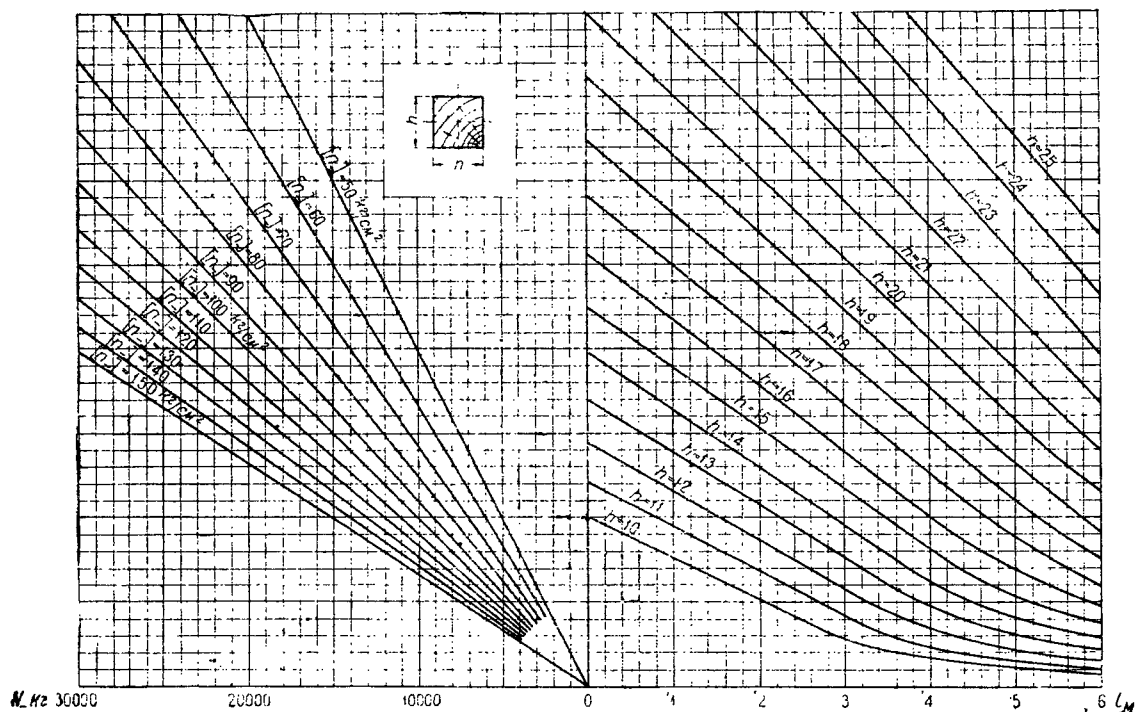
#### 4) Расчет на продольный изгиб стержней составного сечения

##### а) Подбор сечения и проверка напряжений

При расчете стержней составного сечения необходимо различать два возможных случая продольного изгиба:

1. Продольный изгиб относительно материальной оси, проходящей через центры тяжести всех отдельных сечений, составляющих стержень (фиг. 10, а и б, ось  $x-x$ ) Изгиб стержня в этом случае происходит в направлении оси  $y-y$ .

2. Продольный изгиб относительно оси, не пересекающей центров тяжести всех отдельных сечений (фиг. 10, а и б, ось  $y-y$  и фиг. 10, в, ось  $x-x$  и  $y-y$ ).

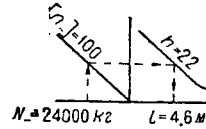
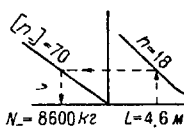
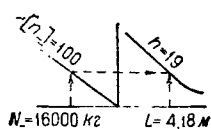


## Примеры пользования номограммой

Дано:  
 $N = 16\ 000\ \text{кг}$ ;  
 $l = 4,18\ \text{м}$ ;  
 $[n] = 100\ \text{кг/см}^2$ ;  
 находим  $h = 19\ \text{см}$ .

Дано:  
 $h = 18\ \text{см}$ ;  
 $l = 4,6\ \text{м}$ ;  
 $[n] = 70\ \text{кг/см}^2$ ;  
 находим  $N = 8\ 600\ \text{кг}$ .

Дано:  
 $N = 24\ 000\ \text{кг}$ ;  
 $h = 22\ \text{см}$ ;  
 $[n] = 100\ \text{кг/см}^2$ ;  
 находим  $l = 4,6\ \text{м}$ .



Фиг. 8. Графики для расчета на продольный изгиб стержней квадратного сечения

Для случая продольного изгиба относительно материальной оси справедливы правила расчета, данные выше для стержня сплошного сечения. Величина критической силы зависит в этом случае только от гибкости  $\frac{l}{r_x}$  всего стержня относительно оси  $x-x$ , и в расчет вводится соответствующее значение  $\varphi_x$ .

Для случая продольного изгиба относительно свободной оси критическая сила, воспринимаемая стержнем составного сечения, как показали опыты, всегда меньше критической силы для сплошного стержня с теми же площадью поперечного сечения и гибкостью.

Уменьшение критической силы, а следовательно и допускаемой нагрузки происходит по следующим причинам: 1) расчленение стержня на отдельные, обычно соединенные не на всем их протяжении элементы уменьшает его жесткость на изгиб; 2) связи, соединяющие отдельные элементы, не вполне жестки (за исключением клея).

Неизбежные практически эксцентриситеты

приложения силы и искривления оси стержня вызывают неравномерное распределение нагрузок, приходящихся на каждый из элементов составного стержня.

Величина критической силы в этом случае зависит как от гибкости всего стержня в целом относительно оси  $y-y$ , так и от гибкости отдельных ветвей элемента, а также и от характера связей.

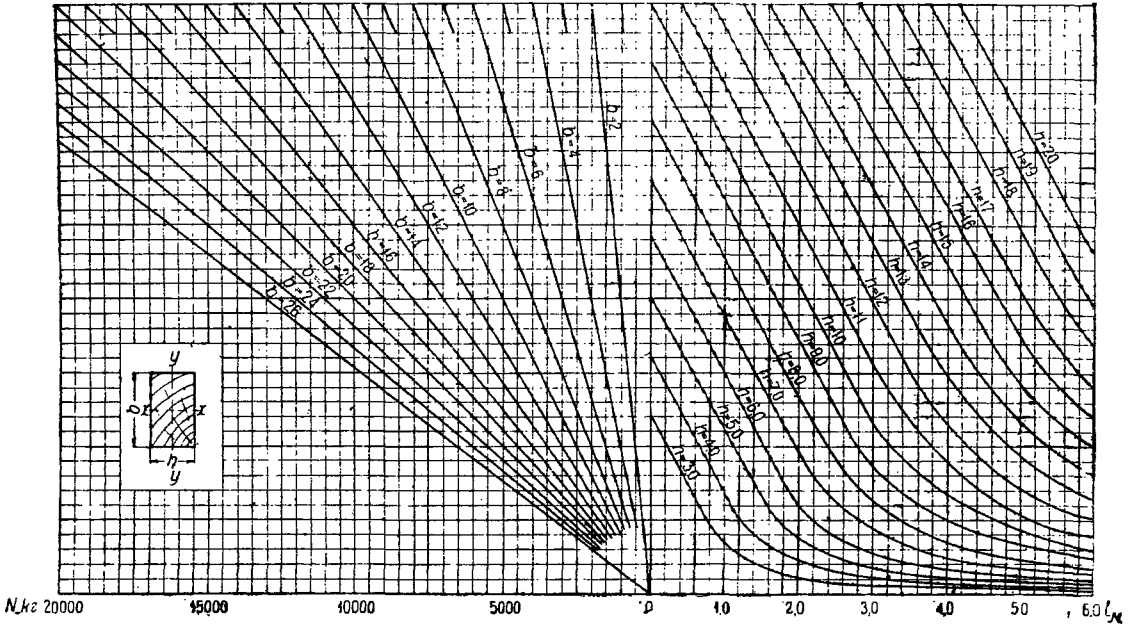
Расчет составных стержней па продольный изгиб относительно свободной оси производится по ф-лам (3) или (4):

$$\frac{N_{\text{к}}}{F} \leq [n_{\text{к}}] \cdot \varphi$$

или

$$\frac{N}{F\varphi} \leq [n_{\text{к}}],$$

где  $\varphi$  — коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе, определяемый с учетом гибкости отдельных составляющих элементов.

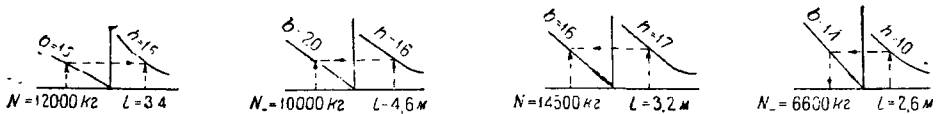


Примеры пользования номограммой

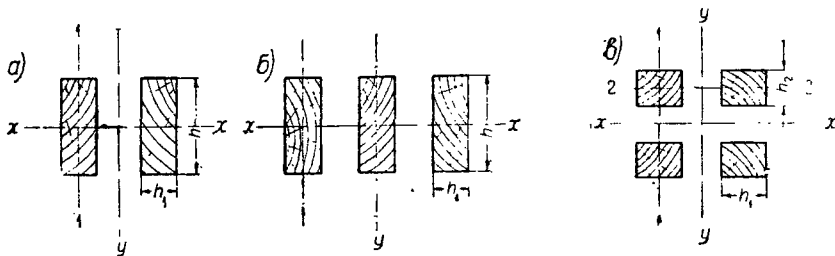
|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| <p>Дано:</p> <p><math>[n_{-}] = 100 \text{ кг/см}^2;</math></p> <p><math>N = 12 \text{ т};</math></p> <p><math>b = 18 \text{ см};</math></p> <p><math>l = 3,4 \text{ м};</math></p> <p>находим <math>h = 15 \text{ см}.</math></p> | <p>Дано:</p> <p><math>[n_{-}] = 100 \text{ кг/см}^2;</math></p> <p><math>N = 10 \text{ т};</math></p> <p><math>h = 16 \text{ см};</math></p> <p><math>l = 4,6 \text{ м};</math></p> <p>находим <math>b = 20 \text{ см}.</math></p> | <p>Дано:</p> <p><math>[n_{-}] = 70 \text{ кг/см}^2;</math></p> <p><math>N = 14,5 \text{ т};</math></p> <p><math>h = 17 \text{ см};</math></p> <p><math>l = 3,2 \text{ м};</math></p> <p>находим <math>b = 16 \times</math><br/><math>\times \frac{100}{70} \approx 23 \text{ см}.</math></p> | <p>Дано:</p> <p><math>[n_{-}] = 100 \text{ кг/см}^2;</math></p> <p><math>h = 10 \text{ см};</math></p> <p><math>b = 14 \text{ см};</math></p> <p><math>l = 2,6 \text{ м};</math></p> <p>находим <math>N = 6600 \text{ кг}.</math></p> |
|--|--|--|---|

Примечания: 1. Номограммы составлены для  $[n_{-}] = 100 \text{ кг/см}^2$ . В случае иных допустимых напряжений ширину следует увеличить умножением на  $\frac{100}{[n_{-}]}$ , где  $[n_{-}]$  — допустимое напряжение сжатия.

2. Если при расчетах величина  $b$  получится меньше, чем  $h$ , то следует произвести перерасчет с тем, чтобы получать  $b \geq h$  или путем специальных мероприятий исключить продольный изгиб относительно оси  $X-X$ .



Фиг. 9. Графики для расчета на продольный изгиб стержней прямоугольного сечения



Фиг. 10. Поперечные сечения составных стержней

Для случая, представленного на фиг. 10, а и б, при продольном изгибе относительно оси  $y-y$ :

$$\varphi = \varphi_y \cdot \varphi_1.$$

где  $\varphi_y$  — коэффициент, определяемый по гибкости  $\frac{l_y}{r_y}$  всего стержня в целом;

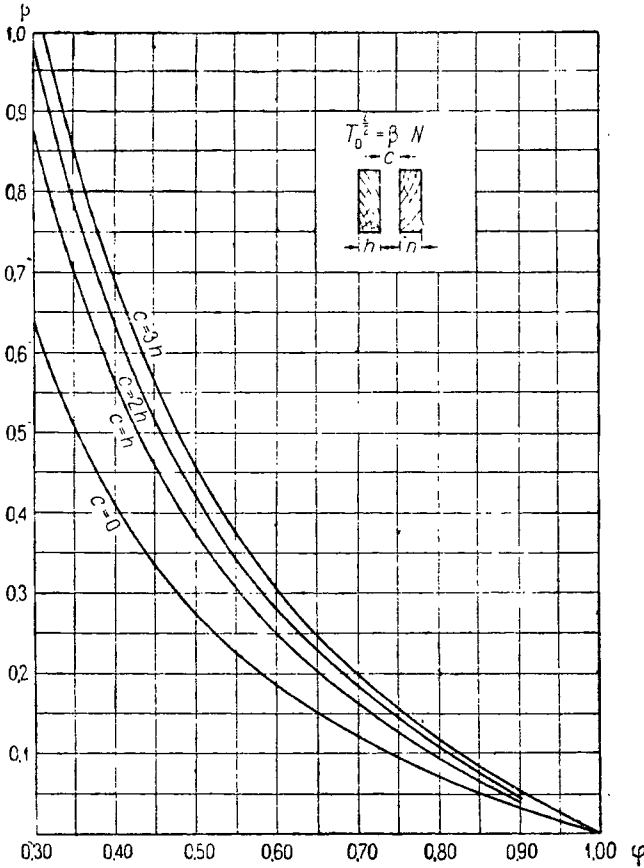
$\varphi_1$  — коэффициент, определяемый по гибкости  $\frac{l_1}{r_1}$  или отношению  $\frac{l_1}{h_1}$  отдельной ветви сечения;  
 $l_y$  — расчетная длина всего стержня при продольном изгибе относительно оси  $y-y$ ;  
 $r_y$  — радиус инерции всего сечения относительно оси  $y-y$ ;

$l_1$  — расчетная длина отдельной ветви, принимаемая равной расстоянию между крайними связями прокладок (болтами, гвоздями и т. д.);

$r_1$  — радиус инерции поперечного сечения составляющего элемента относительно оси, параллельной оси  $y-y$ ;

$h_1$  — размер поперечного сечения одного элемента, взятый в направлении, перпендикулярном оси  $y-y$ .

Для облегчения расчета составных стержней при определении величины радиуса инерции относительно оси  $y-y$  можно пользоваться табл. 15.



Фиг. 11. График для определения силы сдвига при продольном изгибе

При поверке напряжений в стержнях составного сечения должно удовлетворяться следующее условие:

$$\frac{N_-}{F \varphi_{\min}} \leq [n_-],$$

причем за  $\varphi_{\min}$  принимается наименьшее из значений  $\varphi_x$  и  $\varphi = \varphi_y \cdot \varphi_1$  в случае сечения по фиг. 10, а и б или  $\varphi = \varphi_x \cdot \varphi_2$  и  $\varphi = \varphi_y \cdot \varphi_1$  в случае сечения по фиг. 10, в.

б) Расчет связей на сдвигающие усилия

При изгибе стержней составного сечения в швах между элементами составного стержня появляются сдвигающие усилия, которые должны быть учтены и полностью восприняты соответствующими связями, в про-

тивном случае не будет удовлетворена основная предпосылка о совместной работе элементов, составляющих стержень.

Если сдвигающие усилия ничем не восприняты, то допускаемая нагрузка на стержень равна только сумме нагрузок, воспринимаемых отдельными элементами, с длиной последних, равной полной длине всего стержня.

При расчете на продольный изгиб стержня с шарнирно закрепленными концами величина сдвигающего усилия в швах составного поперечного сечения на половине длины стержня определяется по формуле:

$$T_0^{1/2} = k_{\text{до}} \frac{S}{z} \frac{[n_u]}{[n_-]} \left( \frac{1}{\varphi_y} - 1 \right) \frac{N_-}{F}, \quad (9)$$

где  $k_{\text{до}}$  — коэффициент, учитывающий уменьшение жесткости (на изгиб) составного сечения с увеличением числа элементов (табл. 6);

$S$  — статический момент части сечения, сдвигающейся по рассматриваемому шву относительно оси  $y-y$ ;

$z$  — расстояние наиболее удаленного волокна от оси  $y-y$ ;

$\frac{[n_u]}{[n_-]}$  — отношение допускаемых напряжений на изгиб и на сжатие, принимаемое равным 1,1;

$N_-$  — сжимающее усилие;

$F$  — площадь сечения стержня;

$\varphi_y$  — коэффициент уменьшения допускаемого напряжения относительно оси  $y-y$ .

Для стержней с иным закреплением концов сдвигающее усилие, полученное по указанной ф-ле (9), соответствует не половине длины стержня, а некоторой определенной ее части, равной половине расчетной длины.

При значениях  $\varphi$ , близких к единице, формула для  $T_0^{1/2}$  дает величины, близкие к нулю. Однако практически в стержнях неизбежны вследствие искривлений, эксцентриситета приложения силы и других факторов моменты, обуславливающие появление сдвигающих усилий. Поэтому в таких случаях связи следует назначать конструктивно, сообразуясь со степенью гибкости ветвей, их количеством и возможностью неравномерного распределения усилий по сечению. Для практического применения ф-лу (9), определяющую величину сдвигающего усилия, удобно представить

в виде:

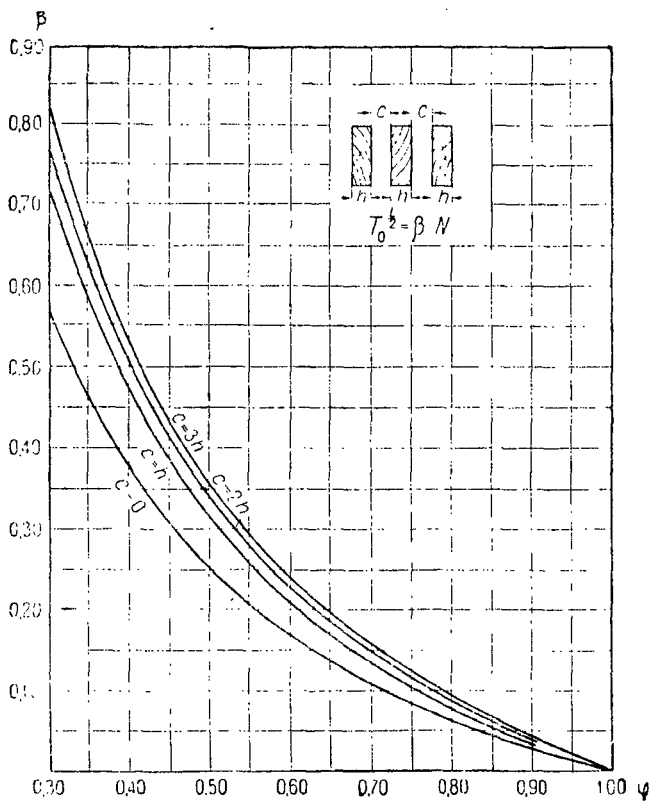
$$T_0^{1/2} = \beta N_-, \quad (10)$$

где

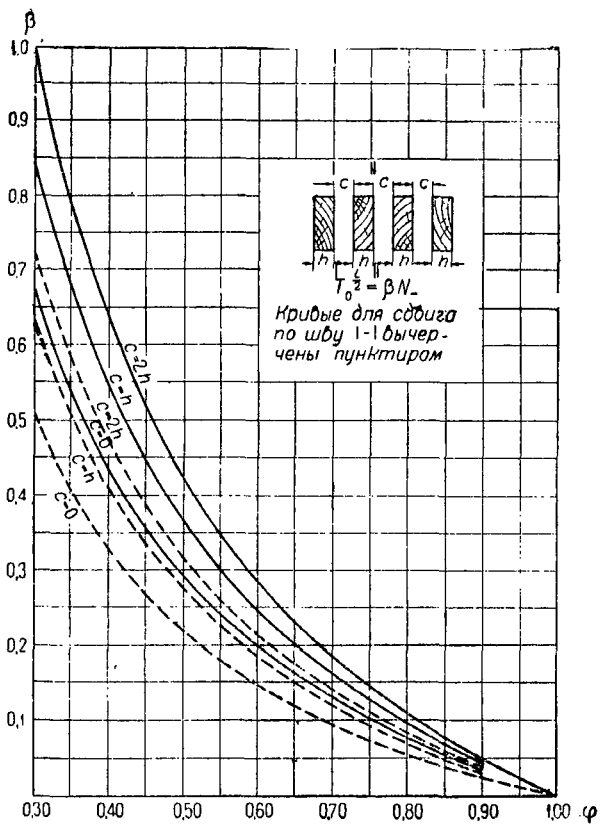
$$\beta = k_{\text{до}} \cdot \frac{S}{z \cdot F} \cdot \frac{[n_u]}{[n_-]} \left( \frac{1}{\varphi_y} - 1 \right).$$

Величина  $\beta$  является функцией коэффициента продольного изгиба  $\varphi$  и соотношения размеров поперечного сечения стержня — количества досок элементов, составляющих стержень, их толщины и расстояний между ними. Для определения величины  $\beta$  можно пользоваться графиками фиг. 11, 12 и 13.

Характер распределения сдвигающих напряжений по длине стержня легко установить, если принять, что продольный изгиб стержня происходит (в первой стадии) по синусоидальной кривой. В этом случае сдвигающие напряже-



Фиг. 12. График для определения силы сдвига при продольном изгибе



Фиг. 13. График для определения сдвига при продольном изгибе





Сдвиг в стержне при продольном изгибе возможен по швам I—I и II—II; для шва I—I имеем по графику фиг. 13:

$$T_0^{1/2} = \beta N_- = 0,06 \cdot 22\,500 = 1\,350 \text{ кг};$$

для шва II—II имеем по тому же графику:

$$T_0^{1/2} = 0,08 \cdot 22\,500 = 1\,800 \text{ кг}.$$

Число рабочих прокладок на половине длины стержня равно двум, так как прокладку в середине стержня в расчет не вводим (фиг. 16). На каждую прокладку действует максимальное сдвигающее усилие:

$$T = \frac{1\,800}{2} = 900 \text{ кг},$$

для восприятия которого ставим зубчато-кольцевую шпонку.

Проверяем напряжение в опасном сечении стержня:

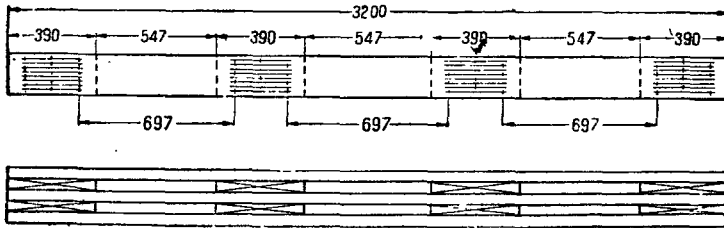
$$\varphi_x = 0,65; \quad \varphi_y = 0,82;$$

$$\frac{l_1}{h_1} = \frac{625}{5} = 12,5;$$

$$\varphi_1 = 0,70; \quad \varphi = \varphi_y \cdot \varphi_1 = 0,82 \cdot 0,7 = 0,57.$$

Следовательно  $\varphi_{\min} = 0,57$ ;

$$n = \frac{N}{F} = \frac{22\,500}{400} = 56 < 100 \cdot 0,57 = 57 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 17. К примеру расчета

**Пример 2.** Требуется сконструировать из досок сжатый стержень длиной 3,20 м, нагруженный силой  $N_- = 12\,500$  кг. Опирание концов — шарнирное, материал — воздушно-сухая сосна марки, соответствующей классу сооружения.

Задаемся шириной отдельной доски  $b = 18$  см, тогда

$$\frac{l}{b} = \frac{320}{18} = 17,8$$

и

$$\varphi_x = 0,57.$$

Необходимая площадь сечения определится из уравнения:

$$F = \frac{N_-}{[\sigma] \varphi} = \frac{12\,500}{100 \cdot 0,57} \approx 220 \text{ см}^2.$$

Проектируем сечение из трех досок  $18 \times 5$  см с площадью  $F = 3 \cdot 18 \cdot 5 = 270 \text{ см}^2$ .

Коэффициент использования сечения:

$$k_{\text{исп}} = \frac{N_-}{F[\sigma]} = \frac{12\,500}{270 \cdot 100} = 0,463 < 0,57.$$

Задаемся ориентировочно длиной отдельной ветви  $l_1 = 70$  см, тогда

$$\frac{l_1}{h_1} = \frac{70}{5} = 14$$

и

$$\varphi_1 = 0,65,$$

$$\varphi_y = \frac{k}{\varphi} = \frac{0,463}{0,65} = 0,713;$$

соответствующая гибкость:

$$\frac{l}{r_y} \approx 40,$$

отсюда требуемое

$$r_y = \frac{320}{40} = 8 \text{ см}.$$

Для сечения из трех элементов при  $b = 5$  см по табл. 2 находим  $r_y = 8,29$  см

Тогда действительная гибкость (относительно оси  $y-y$ ):

$$\frac{l_y}{r_y} = \frac{320}{8,29} = 38,7$$

и

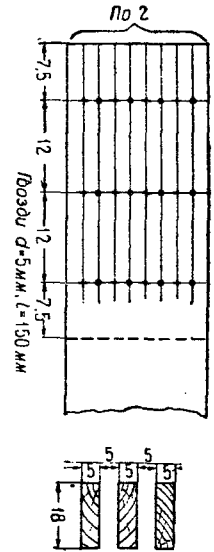
$$\varphi_y = 0,725.$$

Величину сдвигающего усилия в швах сечения находим по графику фиг. 12:

$$\beta = 0,12$$

и

$$T_0^{1/2} \beta N = 0,12 \cdot 12\,500 = 1500 \text{ кг}.$$



Фиг. 18. К примеру расчета

Прокладки ставим на гвоздях  $\varnothing 5$  мм; гвозди должны проходить через первую доску, прокладку и входить в среднюю доску на длину не менее  $a_n$ .

Необходимая длина гвоздя  $l_{\text{гв}} = 50 + 50 + 2 \cdot 2 + 31 + 8 = 143$  мм, ставим гвоздь  $\varnothing 5,0$ , длиной 150 мм.

$$T'_{\text{гв}} = 76 \text{ кг}.$$

Необходимое число срезов на половине длины стержня в каждом шве равно:

$$m = \frac{T_0^{1/2}}{T'_{\text{гв}}} = \frac{1\,500}{76} \approx 20 \text{ срезов};$$

так как рабочих прокладок на половине длины две, то в каждую прокладку забиваем по 12 гвоздей с каждой стороны. Конструкция стержня и разбивка гвоздей в прокладках даны на фиг. 17 и 18.

Действительная длина отдельной ветви  $l_1$  (измеряемая между крайними рядами гвоздей) равна:

$$l_1 = \frac{320 - 2 \cdot 7,5 - 4 \cdot 24}{3} = 69,7 \text{ см} \approx 70 \text{ см}.$$

Действительная гибкость отдельной ветви:

$$\frac{l_1}{h_1} = 14$$

и

$$\varphi_1 = 0,66.$$

Проверяем напряжения на продольный изгиб:

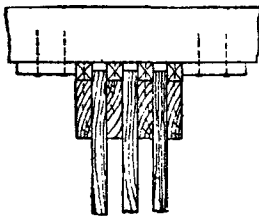
$$\varphi_x = 0,57; \quad \varphi = \varphi_y \cdot \varphi_1 = 0,725 \cdot 0,66 = 0,48,$$

следовательно  $\varphi_{min} = 0,48$  и

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{12\,500}{270} = 46,3 < 100 \cdot 0,48 = 48 \text{ кг/см}^2.$$

**б) Расчет стержней, опертых в промежуточных точках**

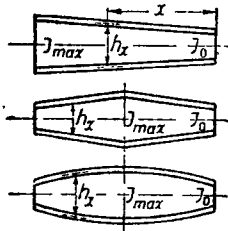
В ряде конструкций приходится встречаться со случаем, когда сжатые стержни кроме закрепления на концах имеют дополнительные закрепления — опоры в пролете. Примером может служить сжатая стойка, проходящая через несколько



Фиг. 19. Закрепление прогонов

этажей и закрепленная в местах ее примыкания к между-

**Форма стержня**



$$I_x = 2F(0,5 \cdot h_x)^2$$

$$\mu = 0,20 + 0,80 \sqrt{\left(\frac{I_0}{I_{max}}\right)^2}$$

$$\mu = 0,34 + 0,66 \sqrt{\frac{I_0}{I_{max}}}$$

$$\mu = 0,61 + 0,39 \sqrt{\frac{I_0}{I_{max}}}$$

Фиг. 20. Значения коэффициентов приведения для стержней с переменным моментом инерции

этажным перекрытиям. Верхний сжатый пояс стропильной фермы также проходит через несколько панелей и закреплен в узловых точках. Закрепление от продольного изгиба в плоскости фермы обеспечивается самой конструкцией фермы; закрепление же от изгиба из плоскости фермы следует учесть при постановке прогонов. Пример такого закрепления дан на фиг. 19.

При наличии промежуточных закреплений стержня за расчетную длину на продольный изгиб следует принимать расстояние между осями закреплений. В промежуточных опорах стержня возможно появление при этом опорных реакций, которые необходимо учесть при проектировании закреплений.

Ввиду того что направление опорной реакции неизвестно, закрепление необходимо осуществить с двух сторон. За величину опорной реакции можно принимать 1—2% от наибольшего из усилий, действующих в смежных с опорой панелях стержня <sup>1</sup>.

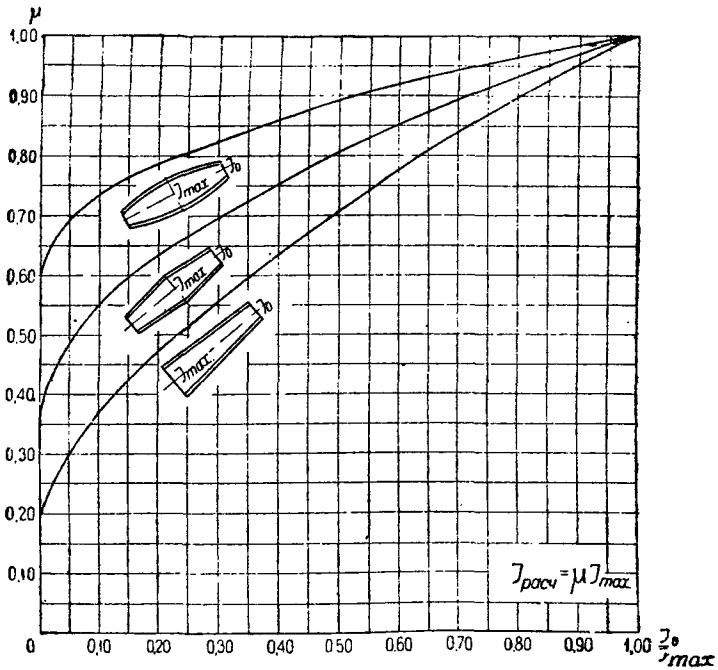
**б) Расчет стержней с переменным моментом инерции**

Стержни с непрерывно меняющимся по длине моментом инерции встречаются в деревянных конструкциях довольно часто. Критическую силу, воспринимаемую таким стержнем при продольном изгибе, можно определить по формуле:

$$N_{кр} = \frac{\pi^2 E \mu I_{max}}{l^2} = \frac{\pi^2 E I_{расч}}{l^2} \quad (11)$$

Влияние изменения  $I$  учитывается тем, что в расчетную формулу на продольный изгиб вместо действительного момента инерции подставляется приведенный расчетный момент инерции:

$$I_{расч} = \mu I_{max}.$$



Фиг. 21. График коэффициентов  $\mu$

Величина коэффициента приведения зависит как от величины концевых моментов инерции, так и от формы стержня. Для стержней с переменным  $I$  значения коэффициента  $\mu$  приведены на фиг. 20 и могут определяться по графику фиг. 21.

<sup>1</sup> Berechnungs und Entwurfsgrundlagen für Bauteile aus Holz im Hochbau DIN K 1052, Bauingenieur 1931, вып. 52.

Вдоль даны формулы для двух стержней с прямыми поясами и одного симметричного стержня с поясами, изогнутыми по параболе. Стержни рассматривались как сплошные, но с допущением, что момент инерции  $I_x$  достаточно точно выражается в виде:

$$I_x = 2F(0,5h_x)^2,$$

где  $F$  — площадь сечения одного пояса;  
 $h_x$  — расстояние между поясами в любой точке стержня.

### 3. Расчет элементов, работающих на сжатие с изгибом

Расчет стоек, нагруженных эксцентрично нормальной силой или одновременно нормальной силой и изгибающим моментом, производится по формуле:

$$n_{-} = \frac{N_{-}}{F_{расч} \cdot \varphi} + \frac{M}{W_{нетто}} \cdot \frac{[n_{-}]}{[n_u]} \leq [n_{-}], \quad (12)$$

где  $N_{-}$  — расчетное сжимающее усилие в стержне;

$F_{расч}$  — расчетная площадь сечения;

$W_{нетто}$  — момент сопротивления нетто для оси, относительно которой происходит поперечный изгиб;

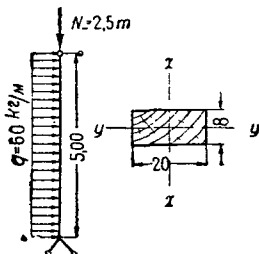
$M$  — изгибающий момент, равный в случае эксцентричного воздействия нормальной силы

$$M = N_e,$$

где  $e$  — эксцентриситет;

$\varphi$  — коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе.

**Пример.** Проверить напряжение в стойке каркасного здания из полусухой ели марки, соответствующей классу сооружения. Высота стойки 5,0 м, поперечное сечение 8 × 20 см. Стойка нагружена осевой силой  $N_{-} = 2500$  кг и поперечной горизонтальной ветровой нагрузкой  $q = 60$  кг/м (фиг. 22). Продольный изгиб стойки относительно оси  $y$  —  $y$  невозможен ввиду наличия обшивки.



Фиг. 22. К примеру расчета

По графику фиг. 4 для  $\frac{l}{h} = \frac{500}{20} = 25$  находим:

$$\varphi = 0,4.$$

Расчетный изгибающий момент в балке на двух опорах с равномерно распределенной нагрузкой:

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{60 \cdot 5^2}{8} = 188 \text{ кгм.}$$

Площадь сечения стойки 8 × 20 см,  $F = 160$  см<sup>2</sup>, момент сопротивления  $W = 533$  см<sup>3</sup>.

Расчетное напряжение в стойке:

$$n_{-} = \frac{2500}{160 \cdot 0,4} + \frac{18800}{533} \cdot \frac{100}{110} = 71 < 81,0 \text{ кг/см}^2,$$

где 81,0 = 100 · 0,9 · 0,9 — допускаемое напряжение для полусухой ели.

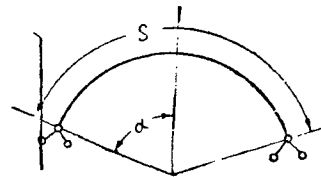
### 4. Расчет арок и сводов

Теоретические исследования показали, что критическая сила для сжатого арочного (или сводчатого) криволинейного стержня зависит от формы стержня, закрепления его концов и величины центрального угла арки. При сжатии, возникающем от равномерно распределенной по всему пролету нагрузки, критическую силу можно определять по формуле:

$$N_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{(k_a s)^2} = \frac{\pi^2 FI}{l_{расч}^2}, \quad (13)$$

где  $k_a$  — коэффициент приведения к расчетной длине, зависящий от формы арки, условий ее опирания, количества шарниров и величины центрального угла арки;

$s$  — длина дуги арки (фиг. 23).



| $\alpha^\circ$ | Число шарниров |       |
|----------------|----------------|-------|
|                | Два            | Три   |
| 15°            | 0,562          | 0,722 |
| 30°            | 0,538          | 0,730 |
| 40°            | 0,574          | 0,738 |
| 50°            | 0,582          | 0,748 |
| 60°            | 0,594          | 0,764 |
| 70°            | 0,606          | 0,719 |
| 80°            | 0,625          | 0,804 |
| 90°            | 0,647          | 0,832 |

Фиг. 23. Значения коэффициентов  $k_a$

Таким образом криволинейность стержня учитывается тем, что в расчетные формулы продольного изгиба прямых стержней вводится расчетная длина стержня:

$$l_{расч} = s \cdot k_a.$$

Теоретические исследования дают следующие значения  $k_a$ :

для двухшарнирной арки (свода):

$$k_a = \frac{0,5\pi}{\sqrt{\pi^2 - \alpha^2}};$$

для трехшарнирной арки (свода):

$$k_a = \frac{0,65\pi}{\sqrt{\pi^2 - \alpha^2}},$$

где  $\alpha$  — половина центрального угла арки. Учитывая необходимость повышения коэффициента надежности для криволинейных стержней, ТУ и Н приводят несколько увеличенные величины коэффициентов приведения для определения свободной длины арок и сводов, а именно: для двухшарнирной арки:

$$k_a = \frac{0,56\pi}{\sqrt{\pi^2 - \alpha^2}};$$

для трехшарнирной арки:

$$k_a = \frac{0,72\pi}{\sqrt{\pi^2 - a^2}}$$

Фиг. 23 дает значения  $k_a$  для различных типов арок в зависимости от величины центрального угла.

Если кроме нормальных сил в арке (своде) действуют изгибающие моменты, например от одностороннего нагружения, то поверка напряжений может производиться по Ф-ле (12) для сложного сопротивления, причем в опасном сечении должно быть удовлетворено условие:

$$\frac{N_-}{F_{нстотФ}} + \frac{M}{W_{нстот}} \frac{[n_-]}{[n_u]} \leq [n_-]$$

Для двух- и трехшарнирных арок опасными в отношении продольного изгиба являются сечения, расположенные примерно в первой и последней четвертях длины арки.

Для арок (сводов) составного сечения коэффициент уменьшения напряжения при продольном изгибе должен определяться с учетом гибкости отдельных составляющих элементов точно так же, как и для соответствующих прямолинейных стержней составного сечения.

Сдвигающее усилие продольного изгиба в свях арки (свода) составного сечения определяется по обычной формуле:

$$T = k_{сдв} \frac{S}{z} \frac{[n_u]}{[n_-]} \left( \frac{1}{\varphi} - 1 \right) \frac{N_-}{F}$$

и может быть принято действующим на протяжении приблизительно  $1/4$  длины  $s$  арки.

Все обозначения имеют здесь тот же смысл, что и в Ф-ле (9) для прямолинейного стержня.

Вычисленное сдвигающее усилие должно быть воспринято соответствующими связями.

Кроме проверки устойчивости арок в плоскости их кривизны должна быть произведена поверка на продольный изгиб из плоскости арки. В этом случае расчетная длина принимается равной расстоянию между точками прикрепления жестких поперечных связей.

Таблицы радиусов инерции сечений, состоящих из разного числа досок

Общая формула, выражающая величину радиуса инерции  $r_u = \sqrt{\frac{I}{F}}$  для случая, когда сечение составлено из пластинок равной толщины  $a$  и удаленных одна от другой на расстояние  $b$ , приводится к виду:

$$r_u = \sqrt{\frac{a^2}{12} + K(a+b)^2}$$

где  $K$  — коэффициент, зависящий от числа пластинок, входящих в состав сечения, именно:

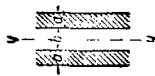
|                                  |       |     |         |       |     |                      |
|----------------------------------|-------|-----|---------|-------|-----|----------------------|
| для сечения, состоящего из одной | доски | ... | $K = 6$ |       |     |                      |
| »                                | »     | »   | двух    | досок | ... | $K = 1/2$            |
| »                                | »     | »   | трех    | »     | ... | $K = 2/3$            |
| »                                | »     | »   | четырёх | »     | ... | $K = 11/4$           |
| »                                | »     | »   | »       | пяти  | »   | $K = 2$              |
| »                                | »     | »   | »       | шести | »   | $K = \frac{8,75}{3}$ |

В таблицах все размеры даны в сантиметрах.

Таблица 1

Сечение из двух досок толщиной  $a$

| a    | b    |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | 2,5  | 3    | 3,5  | 4    | 4,5  | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
| 2,5  | 1,44 | 1,39 | 2,86 | 2,60 | 2,84 | 3,09  | 3,33  | 3,57  | 3,82  | 4,31  | 4,80  | 5,30  | 5,80  | 6,30  | 6,80  | 7,30  |
| 3,0  | 1,73 | 2,18 | 2,65 | 3,17 | 3,12 | 3,46  | 3,61  | 3,85  | 4,09  | 4,31  | 5,07  | 5,35  | 5,63  | 5,91  | 6,19  | 6,47  |
| 3,5  | 2,02 | 2,47 | 3,21 | 3,45 | 3,40 | 3,64  | 3,88  | 4,13  | 4,37  | 4,88  | 5,35  | 5,82  | 6,30  | 6,78  | 7,26  | 7,74  |
| 4,0  | 2,31 | 2,75 | 3,21 | 3,45 | 3,69 | 3,92  | 4,16  | 4,40  | 4,65  | 5,13  | 5,62  | 6,11  | 6,60  | 7,09  | 7,58  | 8,07  |
| 4,5  | 2,60 | 3,04 | 3,50 | 3,73 | 3,97 | 4,21  | 4,44  | 4,68  | 4,92  | 5,41  | 5,90  | 6,39  | 6,87  | 7,37  | 7,86  | 8,35  |
| 5,0  | 2,89 | 3,33 | 3,79 | 4,02 | 4,25 | 4,49  | 4,73  | 4,96  | 5,20  | 5,69  | 6,17  | 6,66  | 7,15  | 7,64  | 8,13  | 8,62  |
| 6,0  | 3,45 | 3,91 | 4,36 | 4,59 | 4,82 | 5,05  | 5,29  | 5,53  | 5,77  | 6,25  | 6,73  | 7,21  | 7,70  | 8,19  | 8,67  | 9,16  |
| 7,0  | 4,02 | 4,48 | 4,93 | 5,16 | 5,39 | 5,63  | 5,86  | 6,09  | 6,33  | 6,81  | 7,29  | 7,77  | 8,25  | 8,74  | 9,22  | 9,71  |
| 8,0  | 4,62 | 5,08 | 5,51 | 5,74 | 5,96 | 6,20  | 6,43  | 6,66  | 6,90  | 7,37  | 7,85  | 8,33  | 8,81  | 9,29  | 9,78  | 10,26 |
| 9,0  | 5,20 | 5,63 | 6,08 | 6,31 | 6,54 | 6,77  | 7,00  | 7,23  | 7,47  | 7,94  | 8,41  | 8,89  | 9,37  | 9,85  | 10,33 | 10,82 |
| 10,0 | 5,77 | 6,21 | 6,66 | 6,88 | 7,11 | 7,34  | 7,57  | 7,80  | 8,04  | 8,50  | 8,95  | 9,43  | 9,91  | 1,04  | 10,59 | 11,37 |
| 11,0 | 6,35 | 6,79 | 7,23 | 7,45 | 7,69 | 7,91  | 8,14  | 8,38  | 8,61  | 9,07  | 9,54  | 10,02 | 10,49 | 10,97 | 11,45 | 12,41 |
| 12,0 | 6,93 | 7,37 | 7,81 | 8,04 | 8,25 | 8,49  | 8,72  | 8,95  | 9,18  | 9,64  | 10,11 | 10,59 | 11,08 | 11,53 | 12,01 | 12,97 |
| 13,0 | 7,51 | 7,94 | 8,39 | 8,61 | 8,84 | 9,06  | 9,29  | 9,52  | 9,75  | 10,21 | 10,68 | 11,15 | 11,62 | 12,10 | 12,57 | 13,05 |
| 14,0 | 8,08 | 8,51 | 8,96 | 9,18 | 9,41 | 9,64  | 9,87  | 10,09 | 10,32 | 10,79 | 11,25 | 11,72 | 12,19 | 12,66 | 13,14 | 14,09 |
| 15,0 | 8,66 | 9,10 | 9,54 | 9,76 | 9,99 | 10,21 | 10,44 | 10,67 | 10,90 | 11,36 | 11,82 | 12,29 | 12,76 | 13,23 | 13,70 | 14,65 |



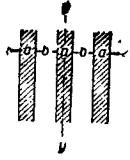


Таблица 2

Сечение из трех досок толщиной *a*

| <i>a</i> \ <i>b</i> | 0     | 1     | 2     | 2,5   | 3     | 3,5   | 4     | 4,5   | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | <i>b</i> \ <i>a</i> |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| 2,5                 | 2,16  | 2,96  | 3,74  | 4,15  | 4,55  | 4,95  | 5,36  | 5,76  | 6,17  | 6,98  | 7,79  | 8,60  | 9,42  | 10,23 | 11,05 | 11,86 | 12,68 | 13,41 | 14,31 | 2                   |
| 3                   | 2,60  | 3,38  | 4,17  | 4,57  | 4,97  | 5,38  | 5,78  | 6,18  | 6,59  | 7,40  | 8,21  | 9,02  | 9,84  | 10,65 | 11,46 | 12,28 | 13,09 | 13,91 | 14,72 | 3                   |
| 3,5                 | 3,03  | 3,81  | 4,60  | 5,00  | 5,40  | 5,80  | 6,21  | 6,61  | 7,01  | 7,82  | 8,63  | 9,44  | 10,26 | 11,07 | 11,88 | 12,70 | 13,51 | 14,32 | 15,14 | 3,5                 |
| 4                   | 3,46  | 4,24  | 5,03  | 5,43  | 5,83  | 6,23  | 6,63  | 7,04  | 7,44  | 8,23  | 9,06  | 9,87  | 10,68 | 11,49 | 12,80 | 13,11 | 13,93 | 14,74 | 15,56 | 4                   |
| 4,5                 | 3,90  | 4,67  | 5,46  | 5,86  | 6,26  | 6,66  | 7,06  | 7,46  | 7,86  | 8,67  | 9,48  | 10,29 | 11,10 | 11,91 | 12,72 | 13,53 | 14,35 | 15,16 | 15,97 | 4,5                 |
| 5                   | 4,33  | 5,11  | 5,89  | 6,29  | 6,69  | 7,09  | 7,49  | 7,89  | 8,29  | 9,10  | 9,91  | 10,71 | 11,52 | 12,33 | 13,14 | 13,96 | 14,77 | 15,58 | 16,39 | 5                   |
| 6                   | 5,10  | 5,97  | 6,76  | 7,15  | 7,55  | 7,95  | 8,35  | 8,75  | 9,15  | 9,95  | 10,75 | 11,56 | 12,37 | 13,18 | 13,99 | 14,80 | 15,61 | 16,42 | 17,23 | 6                   |
| 7                   | 6,06  | 6,84  | 7,62  | 8,02  | 8,41  | 8,81  | 9,21  | 9,60  | 10,00 | 10,81 | 11,61 | 12,41 | 13,22 | 14,03 | 14,84 | 15,64 | 16,45 | 17,26 | 18,08 | 7                   |
| 8                   | 6,93  | 7,70  | 8,49  | 8,88  | 9,27  | 9,67  | 10,07 | 10,46 | 10,86 | 11,66 | 12,46 | 13,27 | 14,07 | 14,89 | 15,68 | 16,49 | 17,30 | 18,11 | 18,92 | 8                   |
| 9                   | 7,79  | 8,57  | 9,35  | 9,74  | 10,14 | 10,53 | 10,93 | 11,32 | 11,72 | 12,52 | 13,32 | 14,12 | 14,92 | 15,73 | 16,54 | 17,34 | 18,15 | 18,96 | 19,77 | 9                   |
| 10                  | 8,66  | 9,43  | 10,21 | 10,61 | 11,00 | 11,39 | 11,78 | 12,19 | 12,58 | 13,38 | 14,18 | 14,98 | 15,77 | 16,58 | 17,39 | 18,19 | 19,00 | 19,81 | 20,62 | 10                  |
| 11                  | 9,53  | 10,30 | 11,08 | 11,47 | 11,86 | 12,26 | 12,65 | 13,06 | 13,44 | 14,24 | 15,04 | 15,83 | 16,64 | 17,44 | 18,24 | 19,05 | 19,85 | 20,66 | 21,46 | 11                  |
| 12                  | 10,31 | 11,17 | 11,94 | 12,34 | 12,73 | 13,12 | 13,52 | 13,91 | 14,31 | 15,10 | 15,90 | 16,69 | 17,49 | 18,29 | 19,10 | 19,90 | 20,70 | 21,51 | 22,32 | 12                  |
| 13                  | 11,26 | 12,03 | 12,81 | 13,20 | 13,59 | 13,99 | 14,38 | 14,77 | 15,17 | 15,96 | 16,76 | 17,55 | 18,35 | 19,15 | 19,95 | 20,75 | 21,56 | 22,36 | 23,17 | 13                  |
| 14                  | 12,12 | 12,90 | 13,67 | 14,07 | 14,46 | 14,85 | 15,24 | 15,64 | 16,03 | 16,82 | 17,62 | 18,41 | 19,21 | 20,01 | 20,81 | 21,61 | 22,41 | 23,22 | 24,02 | 14                  |
| 15                  | 12,99 | 13,76 | 14,54 | 14,93 | 15,32 | 15,71 | 16,11 | 16,50 | 16,90 | 17,68 | 18,48 | 19,27 | 20,07 | 20,87 | 21,67 | 22,47 | 23,27 | 24,07 | 24,87 | 15                  |

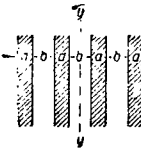


Таблица 3

Сечение из четырех досок толщиной *a*

| <i>a</i> \ <i>b</i> | 0     | 1     | 2     | 2,5   | 3     | 3,5   | 4     | 4,5   | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | <i>b</i> \ <i>a</i> |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| 2,5                 | 2,89  | 3,98  | 5,08  | 5,64  | 6,19  | 6,75  | 7,30  | 7,86  | 8,42  | 9,53  | 10,65 | 11,76 | 12,88 | 13,99 | 15,11 | 16,23 | 17,34 | 18,46 | 19,58 | 2                   |
| 3                   | 3,46  | 4,56  | 5,66  | 6,21  | 6,76  | 7,32  | 7,87  | 8,43  | 8,99  | 10,10 | 11,21 | 12,33 | 13,44 | 14,56 | 15,68 | 16,79 | 17,91 | 19,03 | 20,14 | 3                   |
| 3,5                 | 4,04  | 5,13  | 6,23  | 6,78  | 7,34  | 7,89  | 8,45  | 9,00  | 9,56  | 10,67 | 11,78 | 12,90 | 14,01 | 15,13 | 16,24 | 17,36 | 18,48 | 19,59 | 20,71 | 3,5                 |
| 4                   | 4,62  | 5,71  | 6,81  | 7,36  | 7,91  | 8,46  | 9,02  | 9,57  | 10,13 | 11,24 | 12,35 | 13,47 | 14,58 | 15,69 | 16,81 | 17,93 | 19,04 | 20,16 | 21,27 | 4                   |
| 4,5                 | 5,20  | 6,29  | 7,38  | 7,93  | 8,49  | 9,04  | 9,59  | 10,15 | 10,70 | 11,81 | 12,92 | 14,04 | 15,15 | 16,26 | 17,38 | 18,49 | 19,61 | 20,72 | 21,84 | 4,5                 |
| 5                   | 5,77  | 6,86  | 7,96  | 8,51  | 9,06  | 9,61  | 10,17 | 10,72 | 11,27 | 12,38 | 13,49 | 14,61 | 15,72 | 16,83 | 17,95 | 19,06 | 20,18 | 21,29 | 22,41 | 5                   |
| 6                   | 6,93  | 8,02  | 9,11  | 9,66  | 10,21 | 10,76 | 11,31 | 11,87 | 12,42 | 13,53 | 14,64 | 15,75 | 16,86 | 17,97 | 19,09 | 20,20 | 21,31 | 22,43 | 23,54 | 6                   |
| 7                   | 8,08  | 9,17  | 10,26 | 10,81 | 11,36 | 11,91 | 12,46 | 13,02 | 13,57 | 14,67 | 15,78 | 16,89 | 18,00 | 19,11 | 20,23 | 21,34 | 22,45 | 23,57 | 24,68 | 7                   |
| 8                   | 9,24  | 10,32 | 11,42 | 11,96 | 12,51 | 13,06 | 13,61 | 14,16 | 14,72 | 15,82 | 16,93 | 18,04 | 19,15 | 20,26 | 21,37 | 22,48 | 23,59 | 24,70 | 25,82 | 8                   |
| 9                   | 10,39 | 11,48 | 12,57 | 13,12 | 13,67 | 14,21 | 14,76 | 15,32 | 15,87 | 16,97 | 18,08 | 19,19 | 20,29 | 21,40 | 22,51 | 23,62 | 24,73 | 25,85 | 26,96 | 9                   |
| 10                  | 11,55 | 12,63 | 13,72 | 14,27 | 14,82 | 15,37 | 15,92 | 16,47 | 17,02 | 18,12 | 19,22 | 20,33 | 21,44 | 22,55 | 23,66 | 24,77 | 25,88 | 26,99 | 28,10 | 10                  |
| 11                  | 12,70 | 13,79 | 14,88 | 15,42 | 15,97 | 16,52 | 17,07 | 17,62 | 18,17 | 19,27 | 20,37 | 21,48 | 22,59 | 23,69 | 24,80 | 25,91 | 27,02 | 28,13 | 29,24 | 11                  |
| 12                  | 13,86 | 14,94 | 16,03 | 16,58 | 17,12 | 17,67 | 18,22 | 18,77 | 19,32 | 20,42 | 21,52 | 22,63 | 23,74 | 24,84 | 25,95 | 27,06 | 28,16 | 29,27 | 30,39 | 12                  |
| 13                  | 15,01 | 16,10 | 17,19 | 17,73 | 18,28 | 18,83 | 19,37 | 19,92 | 20,47 | 21,57 | 22,67 | 23,78 | 24,89 | 25,99 | 27,10 | 28,20 | 29,31 | 30,42 | 31,53 | 13                  |
| 14                  | 16,17 | 17,25 | 18,34 | 18,88 | 19,43 | 19,98 | 20,53 | 21,07 | 21,62 | 22,72 | 23,82 | 24,93 | 26,03 | 27,14 | 28,24 | 29,35 | 30,46 | 31,56 | 32,67 | 14                  |
| 15                  | 17,32 | 18,40 | 19,49 | 20,04 | 20,59 | 21,13 | 21,68 | 22,23 | 22,78 | 23,87 | 24,97 | 26,08 | 27,18 | 28,28 | 29,39 | 30,50 | 31,60 | 32,71 | 33,82 | 15                  |

СЖАТИЕ

Таблица 4

Сечение из пяти досок толщиной «

| a   | b     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     | 0     | 1     | 2     | 2,5   | 3     | 3,5   | 4     | 4,5   | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
| 2,5 | 3,61  | 5,00  | 6,40  | 7,11  | 7,81  | 8,52  | 9,22  | 9,93  | 10,63 | 12,04 | 13,45 | 14,87 | 16,28 | 17,69 | 19,11 | 20,52 | 21,93 | 23,35 | 24,76 |
| 3   | 4,33  | 5,72  | 7,12  | 7,83  | 8,53  | 9,23  | 9,94  | 10,64 | 11,35 | 12,76 | 14,17 | 15,58 | 16,98 | 18,41 | 19,82 | 21,23 | 22,64 | 24,06 | 25,47 |
| 3,5 | 5,05  | 6,44  | 7,84  | 8,55  | 9,25  | 9,95  | 10,66 | 11,36 | 12,06 | 13,47 | 14,88 | 16,29 | 17,71 | 19,12 | 20,53 | 21,94 | 23,36 | 24,77 | 26,18 |
| 4   | 5,77  | 7,16  | 8,56  | 9,26  | 9,97  | 10,67 | 11,37 | 12,08 | 12,78 | 14,19 | 15,60 | 17,01 | 18,42 | 19,85 | 21,24 | 22,65 | 24,07 | 25,48 | 26,89 |
| 4,5 | 6,50  | 7,89  | 9,28  | 9,98  | 10,69 | 11,39 | 12,09 | 12,79 | 13,50 | 14,91 | 16,32 | 17,73 | 19,14 | 20,55 | 21,96 | 23,37 | 24,78 | 26,20 | 27,61 |
| 5   | 7,22  | 8,61  | 10,00 | 10,70 | 11,41 | 12,11 | 12,81 | 13,51 | 14,25 | 15,62 | 17,03 | 18,44 | 19,85 | 21,26 | 22,67 | 24,08 | 25,50 | 26,91 | 28,32 |
| 6   | 8,66  | 10,05 | 11,45 | 12,14 | 12,85 | 13,55 | 14,25 | 14,95 | 15,65 | 17,06 | 18,47 | 19,88 | 21,29 | 22,69 | 24,10 | 25,51 | 26,93 | 28,34 | 29,75 |
| 7   | 10,10 | 11,49 | 12,89 | 13,59 | 14,29 | 14,99 | 15,69 | 16,39 | 17,09 | 18,50 | 19,90 | 21,31 | 22,72 | 24,13 | 25,54 | 26,95 | 28,36 | 29,77 | 31,18 |
| 8   | 11,55 | 12,91 | 14,33 | 15,03 | 15,73 | 16,43 | 17,13 | 17,83 | 18,53 | 19,93 | 21,34 | 22,74 | 24,15 | 25,56 | 26,97 | 28,38 | 29,79 | 31,20 | 32,61 |
| 9   | 12,99 | 14,38 | 15,77 | 16,47 | 17,18 | 17,87 | 18,57 | 19,27 | 19,97 | 21,37 | 22,78 | 24,18 | 25,59 | 27,00 | 28,41 | 29,81 | 31,22 | 32,63 | 34,04 |
| 10  | 14,48 | 15,82 | 17,21 | 17,91 | 18,61 | 19,31 | 20,01 | 20,71 | 21,41 | 22,81 | 24,21 | 25,62 | 27,02 | 28,43 | 29,84 | 31,25 | 32,65 | 34,05 | 35,47 |
| 11  | 15,88 | 17,26 | 18,66 | 19,35 | 20,05 | 20,75 | 21,45 | 22,15 | 22,85 | 24,25 | 25,65 | 27,06 | 28,46 | 29,87 | 31,27 | 32,68 | 34,09 | 35,50 | 36,91 |
| 12  | 17,32 | 18,71 | 20,10 | 20,80 | 21,49 | 22,19 | 22,89 | 23,59 | 24,29 | 25,69 | 27,09 | 28,50 | 29,90 | 31,30 | 32,71 | 34,12 | 35,52 | 36,93 | 38,34 |
| 13  | 18,76 | 20,15 | 21,54 | 22,24 | 22,94 | 23,63 | 24,33 | 25,03 | 25,73 | 27,13 | 28,53 | 29,93 | 31,34 | 32,74 | 34,15 | 35,55 | 36,96 | 38,37 | 39,78 |
| 14  | 20,21 | 21,59 | 22,99 | 23,68 | 24,38 | 25,08 | 25,77 | 26,47 | 27,17 | 28,57 | 29,97 | 31,37 | 32,78 | 34,18 | 35,59 | 36,99 | 38,40 | 39,80 | 41,21 |
| 15  | 21,65 | 23,04 | 24,43 | 25,12 | 25,82 | 26,52 | 27,22 | 27,92 | 28,61 | 30,01 | 31,41 | 32,81 | 34,22 | 35,62 | 37,02 | 38,43 | 39,83 | 41,24 | 42,65 |

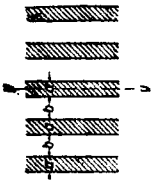
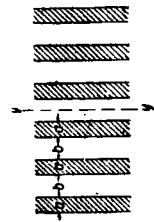


Таблица 5

Сечение из шести досок толщиной «

| a   | b     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     | 0     | 1     | 2     | 2,5   | 3     | 3,5   | 4     | 4,5   | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
| 2,5 | 4,33  | 6,02  | 7,72  | 8,57  | 9,43  | 10,27 | 11,12 | 11,98 | 12,83 | 14,53 | 16,24 | 17,95 | 19,65 | 21,36 | 23,07 | 24,77 | 26,48 | 28,19 | 29,90 |
| 3   | 5,20  | 6,89  | 8,58  | 9,43  | 10,23 | 11,18 | 11,99 | 12,84 | 13,69 | 15,40 | 17,10 | 18,81 | 20,51 | 22,22 | 23,92 | 25,63 | 27,34 | 29,05 | 30,75 |
| 3,5 | 6,06  | 7,75  | 9,45  | 10,30 | 11,15 | 12,00 | 12,85 | 13,70 | 14,55 | 16,26 | 17,96 | 19,67 | 21,37 | 23,08 | 24,78 | 26,49 | 28,20 | 29,90 | 31,61 |
| 4   | 6,93  | 8,62  | 10,31 | 11,16 | 12,01 | 12,85 | 13,71 | 14,56 | 15,41 | 17,12 | 18,82 | 20,53 | 22,23 | 23,94 | 25,64 | 27,35 | 29,06 | 30,76 | 32,47 |
| 4,5 | 7,79  | 9,48  | 11,18 | 12,03 | 12,87 | 13,72 | 14,57 | 15,43 | 16,28 | 17,98 | 19,68 | 21,39 | 23,09 | 24,80 | 26,50 | 28,21 | 29,92 | 31,62 | 33,33 |
| 5   | 8,66  | 10,35 | 12,04 | 12,89 | 13,74 | 14,59 | 15,44 | 16,29 | 17,14 | 18,84 | 20,54 | 22,25 | 23,95 | 25,66 | 27,36 | 29,07 | 30,77 | 32,48 | 34,19 |
| 6   | 10,39 | 12,08 | 13,77 | 14,62 | 15,47 | 16,32 | 17,17 | 18,02 | 18,87 | 20,57 | 22,27 | 23,97 | 25,68 | 27,38 | 29,08 | 30,79 | 32,49 | 34,20 | 35,91 |
| 7   | 12,12 | 13,81 | 15,50 | 16,35 | 17,20 | 18,05 | 18,89 | 19,74 | 20,59 | 22,29 | 23,99 | 25,70 | 27,40 | 29,10 | 30,81 | 32,51 | 34,22 | 35,92 | 37,63 |
| 8   | 13,86 | 15,54 | 17,23 | 18,08 | 18,93 | 19,78 | 20,62 | 21,47 | 22,32 | 24,02 | 25,72 | 27,42 | 29,12 | 30,83 | 32,53 | 34,23 | 35,94 | 37,64 | 39,35 |
| 9   | 15,59 | 17,27 | 18,96 | 19,81 | 20,66 | 21,51 | 22,35 | 23,20 | 24,05 | 25,75 | 27,45 | 29,15 | 30,85 | 32,55 | 34,26 | 35,96 | 37,66 | 39,37 | 41,07 |
| 10  | 17,32 | 19,01 | 20,70 | 21,54 | 22,39 | 23,24 | 24,08 | 24,93 | 25,78 | 27,48 | 29,18 | 30,88 | 32,58 | 34,28 | 35,98 | 37,68 | 39,39 | 41,09 | 42,79 |
| 11  | 19,05 | 20,74 | 22,43 | 23,27 | 24,12 | 24,97 | 25,81 | 26,66 | 27,51 | 29,21 | 30,90 | 32,60 | 34,30 | 36,00 | 37,71 | 39,41 | 41,11 | 42,81 | 44,52 |
| 12  | 20,78 | 22,47 | 24,16 | 25,00 | 25,85 | 26,70 | 27,54 | 28,39 | 29,24 | 30,94 | 32,63 | 34,33 | 36,03 | 37,73 | 39,43 | 41,13 | 42,84 | 44,54 | 46,24 |
| 13  | 22,52 | 24,20 | 25,82 | 26,71 | 27,58 | 28,43 | 29,27 | 30,12 | 30,97 | 32,66 | 34,36 | 36,06 | 37,76 | 39,46 | 41,16 | 42,86 | 44,56 | 46,26 | 47,97 |
| 14  | 24,26 | 25,93 | 27,62 | 28,47 | 29,31 | 30,16 | 31,01 | 31,85 | 32,70 | 34,39 | 36,09 | 37,79 | 39,49 | 41,19 | 42,89 | 44,59 | 46,29 | 47,99 | 49,69 |
| 15  | 26,00 | 27,67 | 29,35 | 30,20 | 31,04 | 31,89 | 32,74 | 33,58 | 34,43 | 36,12 | 37,82 | 39,52 | 41,22 | 42,91 | 44,61 | 46,31 | 48,01 | 49,71 | 51,42 |



Сечение из одной доски толщиной  $a$

| $a$ | $r_u$ | $a$ | $r_u$ | $a$ | $r_u$ | $a$ | $r_u$ | $a$ | $r_u$ |
|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 2,5 | 0,72  | 6   | 1,73  | 12  | 3,46  | 18  | 5,20  | 24  | 6,93  |
| 3   | 0,87  | 7   | 2,12  | 13  | 3,75  | 19  | 5,49  | 25  | 7,22  |
| 3,5 | 1,01  | 8   | 2,31  | 14  | 4,04  | 20  | 5,77  | 26  | 7,51  |
| 4   | 1,15  | 9   | 2,60  | 15  | 4,33  | 21  | 6,06  | 27  | 7,79  |
| 4,5 | 1,30  | 10  | 2,89  | 16  | 4,62  | 22  | 6,35  | 28  | 8,08  |
| 5   | 1,44  | 11  | 3,18  | 17  | 4,91  | 23  | 6,64  | 29  | 8,37  |
|     |       |     |       |     |       |     |       | 30  | 8,66  |

Таблица 6

Коэффициенты  $k_{сдв}$ , учитывающие уменьшение жесткости составных стержней.

| Число швов | $k_{сдв}$ | Число швов | $k_{сдв}$ | Число швов | $k_{сдв}$ | Число швов | $k_{сдв}$ |
|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| 1          | 1,01      | 5          | 1,11      | 9          | 1,32      | 13         | 1,73      |
| 2          | 1,03      | 6          | 1,15      | 10         | 1,40      | 14         | 1,89      |
| 3          | 1,05      | 7          | 1,20      | 11         | 1,49      | 15         | 2,09      |
| 4          | 1,08      | 8          | 1,26      | 12         | 1,60      |            |           |

ЛИТЕРАТУРА

1. Ту и Н «Деревянные конструкции и сооружения», 1931 г.
2. Сяницын В. и Мердлин С., К вопросу о расчете на продольный изгиб составных стержней сплошного сечения, «Проект и стандарт» № 6 за 1933 г.
3. Пшсчиков В. Г., Продольный изгиб деревян-

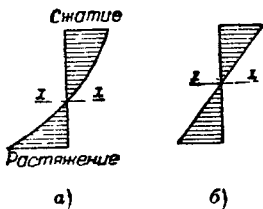
- ных составных стержней, «Проект и стандарт» № 2—3, 1935 г.
4. Плешков П. Ф., О продольном изгибе деревянных составных стержней, «Проект и стандарт» № 2 за 1935 г.
5. Иванов В. Ф., Деревянные конструкции гражданских сооружений, ч. 1, Госстройиздат 1933 г.

Инж. М. Е. КАГАН

IV. ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

1. Распределение внутренних напряжений в изогнутом брус. Расчет на прочность

Опыты, проведенные Винклером и Баушигером<sup>1</sup>, показали, что внутренние напряжения в сильно изогнутом деревянном брус распределены по криволинейному закону, причем нейтральная ось лежит ближе к растянутой зоне (фиг. 1, а). Понижение нейтральной оси в сторону растянутой зоны объясняется неоднородностью строения древесины и различными модулями упругости при сжатии и растяжении.



Фиг. 1. Распределение напряжений по высоте изгибаемого бруса: а — действительное, б — принимаемое при расчете

Хотя сопротивление растяжению выше сопротивления сжатию, окончательное разрушение, как правило, происходит вследствие разрыва растянутых волокон. Это обстоятельство (по Бауману) связано с тем, что по мере приближения к моменту излома в сжатой зоне появляются складки, значительно увеличивающие напряжения в растянутой зоне.

Результаты испытаний Баумана<sup>2</sup> показали однако, что при расчете на изгиб можно (с неко-

торым приближением) пользоваться формулой Навье, выведенной из закона плоских сечений (фиг. 1, б) в предположении равенства модулей упругости сжатия и растяжения; следует только помнить, что крайнее напряжение при изгибе является условной величиной, лежащей между действительными крайними напряжениями в сжатой и растянутой зонах.

Основными формулами при расчете на прочность являются:

при простом изгибе:

$$\frac{M}{W_{нетто}} \leq [r_u], \tag{1}$$

где  $M$  — расчетный изгибающий момент;

$W_{нетто}$  — расчетный момент сопротивления нето поперечного сечения;

$[r_u]$  — допускаемое напряжение на изгиб;

при косом изгибе:

$$\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq [r_u], \tag{2}$$

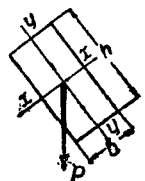
где  $M_x, M_y$  — изгибающие моменты относительно осей  $x$  и  $y$ , а  $W_x, W_y$  — моменты сопротивления относительно тех же осей (фиг. 2).

Для прямоугольного сечения, обозначая:

$$\frac{W_x}{W_y} = \frac{bh^3}{hb^3} = \frac{h}{b} = c,$$

получим:

$$W_x = \frac{M_x + cM_y}{[r_u]} \tag{3}$$



Фиг. 2. Косой изгиб бруса

В некоторых случаях коэффициент  $c$  для прямоугольного сечения может быть принят равным отношению изгибающих моментов  $M_x$  и  $M_y$ :

$$c = \frac{M_x}{M_y}; \tag{4}$$

подставляя это отношение в выражение  $W_x$ , получаем:

$$W_x = \frac{2M_x}{[r_u]}$$

и со ответственно:

$$W_y = \frac{2M_y}{[r_u]}. \tag{5}$$

<sup>1</sup> E. Winkler, Vorträge über Brückenbau, Hölzerne Brücken 1887 г.; Bauschinger H., Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit von Fichten und Kiefern bauhölzern. Mitteilungen aus Laboratorium Technischen Hochschule München 1883 г.

<sup>2</sup> K. Bauman, Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen der Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule, Stuttgart 1922 г.



Таблица 1:  $M_{\max}$ ,  $\frac{f_{\max}}{l}$ ,  $\frac{h}{l}$  в зависимости от  $\frac{f}{l}$  при  $(\eta_{\text{н}}) = 110 \text{ кг/см}^2$  и

| №<br>п/п | Способ загрузки и тип<br>закрепления балки | $M_{\max}$                     | $\frac{f_{\max}}{l}$                       |                                 | $\left(\frac{f_{\max}}{l}\right)_{\text{прив}}$ |
|----------|--|--------------------------------|--|---------------------------------|---|
|          |  |                                | $k_1 \frac{ql^3}{EI}; k_2 \frac{Pl^2}{EI}$ | $k \frac{n_1 l}{Eh}$            |   |
| 1        |  | $-\frac{ql^2}{2}$              | $\frac{1}{8} \frac{ql^3}{EI}$              | $\frac{1}{2} \frac{n_1 l}{Eh}$  | $\frac{5}{12} \frac{f_{\max}}{l}$               |
| 2        |  | $-Pl$                          | $\frac{1}{3} \frac{Pl^2}{EI}$              | $\frac{2}{3} \frac{n_1 l}{Eh}$  | $\frac{5}{16} \frac{f_{\max}}{l}$               |
| 3        |  | $+\frac{ql^2}{8}$              | $\frac{5}{3 \cdot 4} \frac{ql^3}{EI}$      | $\frac{5}{24} \frac{n_1 l}{Eh}$ | 1   |
| 4        |  | $+\frac{Pl}{4}$                | $\frac{1}{48} \frac{Pl^2}{EI}$             | $\frac{1}{6} \frac{n_1 l}{Eh}$  | $\frac{5}{4} \frac{f_{\max}}{l}$                |
| 5        |  | $+\frac{Pl}{3}$                | $\frac{1,83}{48} \frac{Pl^2}{EI}$          | $0,229 \frac{n_1 l}{Eh}$        | $0,911 \frac{f_{\max}}{l}$                      |
| 6        |  | $+\frac{Pl}{2}$                | $\frac{2,375}{48} \frac{Pl^2}{EI}$         | $0,198 \frac{n_1 l}{Eh}$        | $1,05 \frac{f_{\max}}{l}$                       |
| 7        |  | $-\frac{ql^2}{12}$             | $\frac{1}{384} \frac{ql^3}{EI}$            | $\frac{1}{16} \frac{n_2 l}{Eh}$ | $\frac{10}{3} \frac{f_{\max}}{l}$               |
| 8        |  | $\pm \frac{Pl}{8}$             | $\frac{1}{192} \frac{Pl^2}{EI}$            | $\frac{1}{12} \frac{n_1 l}{Eh}$ | $\frac{5}{2} \frac{f_{\max}}{l}$                |
| 9        |  | $+0,0703ql^2$                  | $0,0054 \frac{ql^3}{EI}$                   | $0,154 \frac{n_1 l}{Eh}$        | $1,355 \frac{f_{\max}}{l}$                      |
|          |  | $-0,125ql^2$                   |  | $0,087 \frac{n_2 l}{Eh}$        | $2,409 \frac{f_{\max}}{l}$                      |
| 10       |  | $-0,188ql^2$                   | $0,0093 \frac{Pl^2}{EI}$                   | $0,099 \frac{n_1 l}{Eh}$        | $2,096 \frac{f_{\max}}{l}$                      |
| 11       |  | $+0,207Pl$                     | $0,0150 \frac{Pl^2}{EI}$                   | $0,145 \frac{n_1 l}{Eh}$        | $1,432 \frac{f_{\max}}{l}$                      |
| 12       |  | $-0,096Pl$                     | —  | —                               | —   |
| 13       |  | $x = 0,14651$<br>$-0,0625ql^2$ | $0,0052 \frac{ql^3}{EI}$                   | $0,167 \frac{n_2 l}{Eh}$        | $1,125 \frac{f_{\max}}{l}$                      |
| 14       |  | $x = 0,151$<br>$-0,0637ql^2$   | $0,0051 \frac{ql^3}{EI}$                   | $0,159 \frac{n_1 l}{Eh}$        | $1,316 \frac{f_{\max}}{l}$                      |
| 15       |  | $x = 0,167$<br>$-0,0672ql^2$   | $0,0046 \frac{ql^3}{EI}$                   | $0,138 \frac{n_2 l}{Eh}$        | $1,515 \frac{f_{\max}}{l}$                      |
| 16       |  | $x = 0,171$<br>$-0,0705ql^2$   | $0,0042 \frac{ql^3}{EI}$                   | $0,119 \frac{n_1 l}{Eh}$        | $1,755 \frac{f_{\max}}{l}$                      |
| 17       |  | $x = 0,181$<br>$-0,0738ql^2$   | $0,0038 \frac{ql^3}{EI}$                   | $0,103 \frac{n_2 l}{Eh}$        | $2 \frac{f_{\max}}{l}$                          |
| 18       |  | $x = 0,191$<br>$-0,077ql^2$    | $0,0034 \frac{ql^3}{EI}$                   | $0,085 \frac{n_1 l}{Eh}$        | $2,380 \frac{f_{\max}}{l}$                      |
| 19       |  | $x = 0,201$<br>$-0,0800ql^2$   | $0,0030 \frac{ql^3}{EI}$                   | $0,073 \frac{n_2 l}{Eh}$        | $2,788 \frac{f_{\max}}{l}$                      |
| 20       |  | $x = 2,1131$<br>$-0,0833ql^2$  | $0,0026 \frac{ql^3}{EI}$                   | $0,063 \frac{n_2 l}{Eh}$        | $3,323 \frac{f_{\max}}{l}$                      |

$E = 110\,000 \text{ кг/см}^2$  и вспомогательных величин  $\left(\frac{f_{\max}}{l}\right)_{\text{прив.}}$ ,  $q_{\text{экв}M}$  и  $q_{\text{экв}f}$

Таблица 1

| Эквивалентн. нагр. по отнош. к балке, свободно лежащ. на двух опорах с равном. распредел. нагрузкой |                     | $\frac{l}{h}$ при $n_M = 110 \text{ кг/см}^2$ и $E = 110\,000 \text{ кг/см}^2$ для |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|---|---------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| по $M_{\max}$   | по $f_{\max}$       | $\frac{f}{l} = \frac{1}{500}$  | $\frac{1}{400}$ | $\frac{1}{300}$ | $\frac{1}{250}$ | $\frac{1}{200}$ | $\frac{1}{150}$ | $\frac{1}{100}$ |
| $4q$  | $9,6q$              | 4  | 5               | 6,67            | 8               | 10              | 13,3            | 20              |
| $8 \frac{P}{l}$   | $25,6 \frac{P}{l}$  | 3  | 3,75            | 5               | 6               | 7,5             | 10              | 15              |
| $q$   | $q$                 | 9,6  | 12              | 16              | 19,2            | 24              | 32              | 48              |
| $2 \frac{P}{l}$   | $1,6 \frac{P}{l}$   | 12   | 15              | 20              | 24              | 30              | 40              | 60              |
| $\frac{8}{3} \frac{P}{l}$   | $2,928 \frac{P}{l}$ | 8,73   | 10,92           | 14,55           | 17,46           | 21,84           | 29,10           | 43,62           |
| $4 \frac{P}{l}$   | $3,8 \frac{P}{l}$   | 10,10  | 12,63           | 16,83           | 20,20           | 25,26           | 33,66           | 50,52           |
| $\frac{2}{3} q$   | $0,2q$              | 32   | 40              | 53,3            | 64              | 80              | 106,7           | 160             |
| $\frac{P}{l}$   | $0,4 \frac{P}{l}$   | 24   | 30              | 40              | 43              | 60              | 80              | 120             |
| $0,562q$  | $0,416q$            | —  | —               | —               | —               | —               | —               | —               |
| $q$   | $0,416q$            | 22,98  | 28,73           | 38,27           | 45,96           | 57,46           | 76,54           | 114,92          |
| $1,5 \frac{P}{l}$   | $0,716 \frac{P}{l}$ | 20,2   | 25,25           | 33,63           | 40,4            | 50,5            | 67,20           | 101,0           |
| $1,656 \frac{P}{l}$   | $1,156 \frac{P}{l}$ | 13,79  | 17,24           | 22,96           | 27,58           | 34,48           | 45,92           | 68,96           |
| $0,768 \frac{P}{l}$   | —                   | —  | —               | —               | —               | —               | —               | —               |
| $0,5q$  | $0,4q$              | 12   | 15              | 20              | 24              | 30              | 40              | 60              |
| $0,510q$  | $0,388q$            | 12,53  | 15,82           | 20,96           | 25,16           | 31,64           | 41,92           | 63,28           |
| $0,530q$  | $0,355q$            | 14,49  | 18,12           | 24,16           | 28,98           | 36,24           | 48,32           | 72,48           |
| $0,564q$  | $0,333q$            | 16,81  | 21,00           | 28,00           | 33,62           | 42,00           | 56,00           | 84,00           |
| $0,590q$  | $0,292q$            | 19,41  | 24,27           | 32,36           | 38,82           | 48,54           | 64,72           | 97,08           |
| $0,616q$  | $0,261q$            | 22,72  | 28,41           | 37,87           | 45,44           | 56,82           | 75,74           | 113,64          |
| $0,64q$   | $0,232q$            | 26,32  | 32,89           | 43,85           | 52,64           | 65,78           | 87,70           | 131,56          |
| $0,666q$  | $0,2q$              | 32   | 40              | 53,3            | 64              | 80              | 106,7           | 160             |

## 2. Временное сопротивление. Предел долговременного сопротивления. Расчетная жесткость

Согласно ТУ и Н временное сопротивление изгибу при испытании образцов  $2 \times 2 \times 30$  см должно быть не менее:

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| для воздушно-сухой сосны марки | 0 — 600 кг/см <sup>2</sup> |
| » » » »                        | 1 — 500 »                  |
| » воздушно-сухого дуба         | 0 — 800 »                  |
| » » » »                        | 1 — 700 »                  |

Необходимо отметить, что на величину временного сопротивления весьма влияет быстрота приложения нагрузки. При быстром возрастании действующих сил временное сопротивление оказывается больше, чем при медленном росте их. Чем медленнее процесс разрушения дерева вообще, тем меньшее напряжение способно вызвать его разрушение.

Предельное напряжение, которое не вызывает разрушения дерева при сколь угодно продолжительном действии сил, принято называть пределом долговременного сопротивления.

Инж. Ф. Белянкиным был установлен предел долговременного сопротивления изгибу для большого количества древесных пород<sup>1</sup>.

В табл. 2 указан предел долговременного сопротивления для сосны, ели и дуба.

Таблица 2

Предел долговременного сопротивления

| Порода          | Предел долговременного сопротивления в кг/см <sup>2</sup> | Предел долговременного сопротивления в процентах от временного сопротивления |
|-----------------|---|--|
| Сосна . . . . . | 490   | 80,5   |
| Ель . . . . .   | 410   | 74,8   |
| Дуб . . . . .   | 680   | 80,0   |

Кроме прочности элементы деревянных конструкций должны, как правило, обладать необходимой жесткостью, характеризующейся обычно относительным прогибом, т. е. отношением максимального прогиба к расчетному пролету.

В табл. 1 (стр. 40) для большого количества частных случаев указаны:

$$\frac{f}{l} = k_1 \frac{ql^3}{EI}$$

и

$$\frac{f}{l} = k_2 \frac{Pl^2}{EI}$$

в зависимости от того, является ли нагрузка равномерно распределенной или сосредоточенной.

Для балок с поперечным сечением, симметричным относительно горизонтальной оси<sup>2</sup>, относительный прогиб  $\frac{f}{l}$  может быть выражен формулой:

$$\frac{f}{l} = k \frac{[n_u] l}{EI}$$

Принимая  $n_u = 110$  кг/см<sup>2</sup> и  $E = 110\,000$  кг/см<sup>2</sup>, имеем:

$$\frac{l}{k} = \frac{1\,000}{k} \cdot \frac{f}{l}$$

В табл. 1 указаны  $\frac{l}{k}$  в зависимости от принятого  $\frac{f}{l}$  для большого количества случаев балок, встречающихся в практике. Для сечений, несимметричных относительно оси изгиба (например для пластин), можно пользоваться той же таблицей, следует только вместо фактической высоты сечений  $h$  подставить удвоенное расстояние  $z_{\max}$  от нейтральной оси сечения до крайнего наиболее напряженного волокна балки и в дальнейшем исходить из расчетного краевого напряжения.

В случае, если  $n_u$  не равняется 110 кг/см<sup>2</sup>, высоту сечения можно определить по формуле:

$$h = h_m \frac{110}{n_u}$$

где  $h_m$  — высота поперечного сечения, найденная по таблице.

Допускаемый относительный прогиб определяется назначением сооружения.

В обычных междуэтажных перекрытиях допускается относительный прогиб:

$$\frac{f_{\max}}{l} \leq \frac{1}{400} - \frac{1}{250}$$

В элементах обычных покрытий (прогонах, вспомогательных строительных ногах, обрешетке и т. п.):

$$\frac{f_{\max}}{l} \leq \frac{1}{150} - \frac{1}{250}$$

если сохранность водоизоляционного ковра и другие эксплуатационные условия не требуют большой жесткости конструкции.

При определении прогиба модуль упругости на изгиб следует принимать независимо от породы:

$$\begin{aligned} \text{при сухом лесе} & E_{sc} = 110\,000 \text{ кг/см}^2 \\ \text{» полусухом лесе} & E_{nc} = 100\,000 \text{ »} \\ \text{» сыром лесе} & E_{cp} = 80\,000 \text{ »} \end{aligned}$$

Расчет на скалывание при изгибе производится по формуле:

$$\frac{QS}{Ib} \leq [t_u] \quad (6)$$

где  $Q$  — поперечная сила в рассматриваемом сечении;

$S$  — статический момент сдвигающейся части поперечного сечения относительно нейтральной оси;

$I$  — момент инерции поперечного сечения балки;

$b$  — ширина поперечного сечения балки на той высоте, где определяется скалывающее напряжение;

$[t_u]$  — допускаемое скалывающее напряжение<sup>3</sup> при изгибе.

Необходимо отметить, что расчет на скалывание при изгибе призматической балки прямоугольного сечения в обычных деревянных конструкциях не производится:

- 1) для свободно лежащей балки;
- а) с равномерно распределенной нагрузкой — при  $l/h \geq 5$ ;

<sup>3</sup> См. «Скалывание», стр. 43.

<sup>1</sup> Долговременное сопротивление дерева. «Строительная промышленность» № 11—12. 1932 г.

<sup>2</sup> См. еще раздел IV. «Балки простейшего вида», «Деревоплита», «Конструктивный строительный подъем».

б) с сосредоточенным грузом посредине — при  $l/h \geq 2,5$ ;

2) для двухпролетной неразрезной балки с равными пролетами и равномерно распределенной нагрузкой — при  $l/h \geq 6,25$ ;

3) для средних пролетов в рангомментного балочно-консольного прогона с равномерно распределенной нагрузкой — при  $l/h \geq 10$ ;

здесь  $l$  — расчетный пролет балки;

$h$  — высота прямоугольного сечения балки.

Во всех этих случаях сдвигающие усилия будут меньше допускаемых даже при полном использовании напряжения на изгиб.

ТУ и Н установлены следующие основные допускаемые напряжения на изгиб и на скалывание при изгибе:

для воздушно-сухой сосны  $[n_{из}] = 110 \text{ кг/см}^2$ ,  $[t_{ск}] = 22 \text{ кг/см}^2$ ,

для воздушно-сухого дуба  $[n_{из}] = 130 \text{ кг/см}^2$ ,  $[t_{ск}] = 35 \text{ кг/см}^2$ .

Для других пород дерева, а также в зависимости от класса, назначения сооружения и влажности леса к основным допускаемым напряжениям следует вводить поправочные коэффициенты согласно ТУ и Н.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТУ и Н, Деревянные конструкции и сооружения, глава «Основные положения» и «Поперечный изгиб», 1931 г.
2. Гестеши Г., Деревянные сооружения, ГТИ, 1931 г.
3. Керстен К., Современные инженерные деревянные конструкции, Гострансиздат, 1932 г.
4. Каган М. Е., Номограммы для расчета балок прямоугольного сечения на изгиб, «Строительная промышленность» № 6 за 1931 г.
5. Проф. Иванов В. Ф., Деревянные конструкции гражданских сооружений, ч. 1, Гостройиздат, 1933 г.
6. Инж. Большаков В. В., Деревянные конструкции, уроки 1 и 2.

Инж. Г. Г. ТАХТАМЫШЕВ

У. СКАЛЫВАНИЕ

1. Лабораторные данные

Крепость сопряжений, работающих на скалывание, определяется главным образом характером распределения скалывающих напряжений по площади скалывания. Значительная неравномерность распределения напряжений, особенно характерная для «одностороннего» скалывания в сопряжениях, где растянутый элемент прикрепляется путем врезки и упора в него сжатого элемента (фиг. 1), не позволяет использовать всей площади скалывания. Перенапряжение на небольшом участке площади скалывания угрожает крепости всего сопряжения, так как по достижению на этом участке наибольшим скалывающим напряжением  $t_{max}$  временного сопротивления участок разрушается, эпюра скалывающих напряжений автоматически перемещается на соседний еще целый участок и вызывает дальнейшее скалывание всего сопряжения. Пластичность древесины при скалывании столь незначительна, что не в состоянии выравнять приложенных по площади скалывания напряжений. В менее часто встречающемся на практике случае «промежуточного» скалывания, когда площадь скалывания включена между вызывающими скалывание силами (фиг. 2), напряжения распределяются более равномерно, а следовательно сопряжение при той же площади скалывания обладает большей прочностью.

Обычный условный расчет на скалывание предполагает равномерное распределение напряжений и позволяет определить среднее напряжение по формуле:

$$t_{cp} = \frac{P}{l_t \cdot b},$$

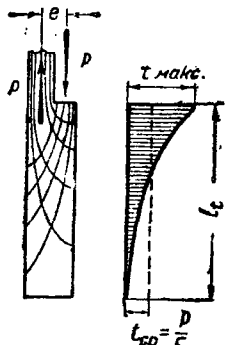
где  $l_t$  — длина площади скалывания;  $b$  — ее ширина.

Если обозначать  $t_{max} = \eta t_{cp}$ , то будем иметь:

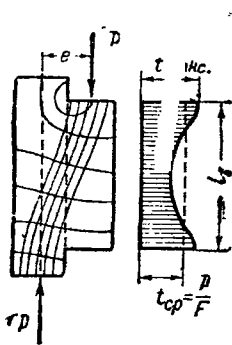
$$P = \frac{l_t b t_{max}}{\eta}.$$

Отсюда видно, что чем больше «коэффициент неравномерности»  $\eta$ , тем меньше допустимая по скалыванию нагрузка.

Для исследования закона распределения скалывающих напряжений можно рассматривать элементы конструкций, работающие на скалывание, как изгибаемые балки (фиг. 3, а и б). Высота



Фиг. 1. Одностороннее скалывание



Фиг. 2. Промежуточное скалывание

этих балок обычно весьма велика по отношению к пролету, превышая его, как правило, в несколько раз. Исследуя распределение сдвигающих напряжений по высоте сечения, Ф. Блейх<sup>1</sup> установил следующий закон распределения сдвигающих напряжений по высоте сечения для «промежуточного» скалывания (фиг. 3, а):

$$t_{max} = \left[ 1,1 + 0,02 \left( \frac{l_t}{e} \right)^2 + 0,25 \text{ arc tg } \frac{l_t}{e} \right] \frac{P}{l_t b}, \tag{1}$$

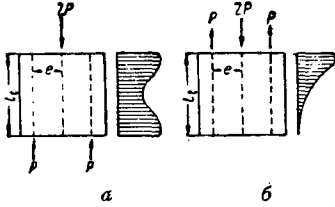
где  $l_t$  — высота балки (длина площади скалывания);

$e$  — плечо между силами скалывания;

<sup>1</sup> Блейх Ф., Железные мосты.

$b$  — ширина балки (ширина площади скалывания);  
 $P$  — скалывающее усилие.

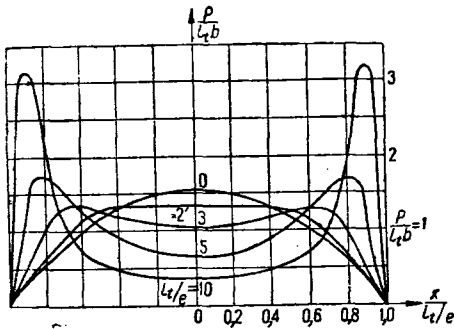
Применяя метод Блейха для случая «одностороннего» скалывания (фиг. 3, б), Е. М. Знаменский<sup>1</sup> получил формулу, выражающую закон



Фиг. 3. Схема приложения сил при промежуточном (а) и одностороннем (б) скалывании

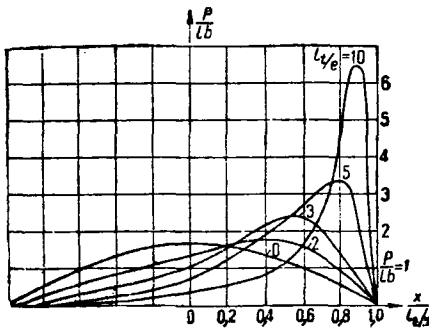
распределения скалывающих напряжений при «одностороннем» скалывании:

$$t_{\max} = \frac{2 \left[ 1,1 + 0,02 \left( \frac{l_t}{e} \right)^2 + 0,25 \arctg \frac{l_t}{e} \right] \frac{P}{l_t b}}{1 + \frac{1}{1 + 30 \sin^2 0,16 \frac{l_t}{e}}} \quad (2)$$



Фиг. 4. Эпюры скалывающих напряжений при промежуточном скалывании

Формула эта хорошо согласуется с опытными данными, приведенными в работе Е. М. Знаменского.



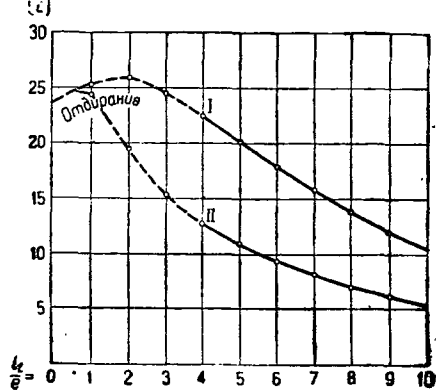
Фиг. 5. Эпюра скалывающих напряжений при одностороннем скалывании

Как видно из ф-л (1) и (2), равномерность распределения скалывающих напряжений зависит

<sup>1</sup> Знаменский Е. М., Технический отчет по теме «Скалывание». ЦИИИС, 1933 г.

от отношения  $\frac{l_t}{e}$  длины площади скалывания к эксцентриситету между силами скалывания. На фиг. 4 и 5 показаны эпюры распределения скалывающих напряжений при «промежуточном» (фиг. 4) и «одностороннем» (фиг. 5) скалывании при различных величинах  $\frac{l_t}{e}$ .

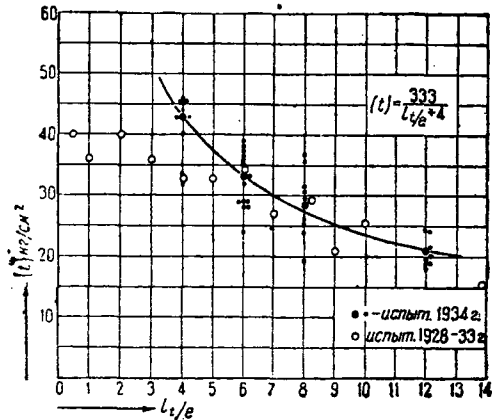
Следует отметить, что при  $\frac{l_t}{e} > 7$  площадь эпюры скалывающих напряжений сохраняется примерно постоянной, и следовательно при даль-



Фиг. 6. График допускаемых напряжений при одностороннем (II) и промежуточном (I) скалывании

нейшем удлинении участка скалывания разрушающее усилие остается постоянным.

Принимая в ф-лах (1) и (2)  $t_{\max}$  равным величине разрушающего скалывающего напряжения, деленного на коэффициент запаса, можно построить график (фиг. 6) допускаемых напряжений  $[t]_{cr} = \frac{P}{l_t b}$ , для «промежуточного» (I) и «одностороннего» (II) скалывания. Этот график вполне под-

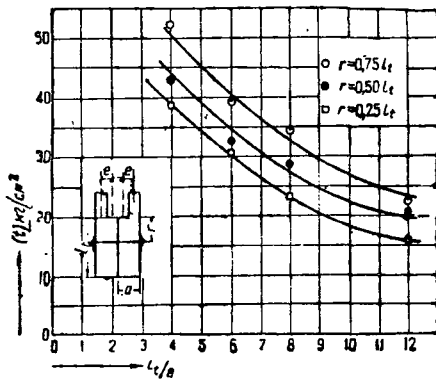


Фиг. 7. График зависимости между средним напряжением скалывания  $[t]$  и отношением  $\frac{l_t}{e}$  при одностороннем скалывании

тверждается экспериментальными данными, нанесенными на график фиг. 7.

На величину среднего разрушающего напряжения помимо отношения  $\frac{l_t}{e}$  оказывает существенное влияние местоположение стяжного болта или опоры, погашающих возникающий в сопря-

жения изгибающий момент. Результаты испытаний образцов с различным отношением  $\frac{l_t}{e}$  при различном местоположении болта по длине участка скалывания приведены на графике фиг. 8.



Фиг. 8. График зависимости между средним напряжением скалывания  $[t]$  и отношением  $\frac{l_t}{e}$  при различном расположении стяжного болта

## 2. Расчет элементов деревянных конструкций на скалывание

Величины основных допускаемых напряжений на скалывание сосны и дуба (согласно ОСТ 7063) приведены в табл. 4.

Таблица 4

Основные допускаемые напряжения на скалывание в  $\text{кг}/\text{см}^2$

| Род напряжения   | Сосна                           |                              | Дуб                             |                              | Примечание  |
|--|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---|
|  | $\parallel$<br>[t] <sub>0</sub> | $\perp$<br>[t] <sub>90</sub> | $\parallel$<br>[t] <sub>0</sub> | $\perp$<br>[t] <sub>90</sub> |   |
| 1. Скалывание при изгибе и в других случаях расчета по наибольшему напряжению $t_{\text{max}}$ | 22                              | —                            | 35                              | —                            | Только для максимального напряжения   |
| 2. Скалывание без отдираивания волокон в предположения его равномерного распределения          | 12                              | 6                            | 20                              | 10                           | Допускаются при условии учета длины скалывания вдоль волокон не свыше 7-кратной глубины врубки, а поперек волокон не свыше 4—5-кратной глубины врубки |
| 3. Скалывание в щечковых врубках   | 8                               | —                            | 14                              | —                            | —   |

Если скалывающее усилие направлено под углом  $\alpha$  к волокнам, допускаемое напряжение определяется по формуле:

$$[t]_{\alpha} = \frac{[t]_0}{1 + \left(\frac{[t]_0}{[t]_{90}} - 1\right) \sin^2 \alpha} \quad (3)$$

В этом случае расчет производится условно в предположении равномерного распределения скалывающих напряжений (за исключением п. 1 таблицы) по формуле:

$$t = \frac{P}{F} \quad (4)$$

где  $t$  — напряжение на скалывание;

$P$  — скалывающее усилие;

$F$  — площадь скалывания.

Весьма вредное влияние на сопротивление скалыванию оказывают трещины, могущие в ряде случаев вывес и из работы всю рабочую площадь скалывания. При малой длине плоскости скалывания возможно возникновение по площади скалывания отдирающих усилий. Поэтому не следует допускать слишком коротких участков скалывания, ограничивая их величиной

$$l_t \geq 4h_{ep},$$

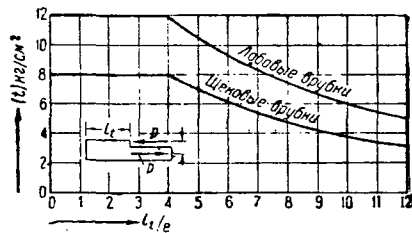
где  $h_{ep}$  — глубина врезки.

Во всех случаях, где это допускают условия, следует длину  $l_t$  скалываемого участка назначать не менее  $7e$ .

Для предотвращения отдирающих усилий от перекоса сжатого элемента следует скреплять его с растянутым элементом при помощи болта, скобы или глухаря.

Разрушающее скалывающее напряжение значительно понижается также при неравномерном распределении напряжений по ширине площади скалывания. Характерным примером этого являются щечковые врубки, в коих неравномерность распределения напряжений предопределяется самой схемой приложения скалывающих усилий, вызывающих кручение скалываемой части.

Разрушение таких врубок происходит обычно при среднем напряжении  $t = 12-17 \text{ кг}/\text{см}^2$  для обычного отношения  $\frac{l_t}{e} = 8-10$ . В то же время лобовые врубки из той же древесины при обычном отношении  $\frac{l_t}{e} = 3-4$  разрушаются при среднем напряжении  $t = 40 \text{ кг}/\text{см}^2$ .



Фиг. 9. График зависимости между допускаемым напряжением скалывания  $[t]$   $\text{кг}/\text{см}^2$  и отношением  $\frac{l_t}{e}$  при одностороннем скалывании для лобовых и щечковых врубок

Практически при расчете щечковых врубок при  $\frac{l_t}{e} = 8-10$  и аналогичных им сопряжений следует понижать величину  $[t]$  до  $5 \text{ кг}/\text{см}^2$ , для лобовых же врубок при  $\frac{l_t}{e} = 3-4$  и аналогичных им сопряжений допускать  $[t] = 12 \text{ кг}/\text{см}^2$ . В случае необходимости произвести расчет при иных значениях  $\frac{l_t}{e}$  можно пользоваться графиком фиг. 9, дающим зависимость между допускаемым напряжением на скалывание и отношением  $\frac{l_t}{e}$  для двух случаев: 1) когда скалывающие напряжения распределены неравномерно лишь по длине площади скалывания (случай, соответствующий лобовой врубке) и 2) когда скалывающие напряжения распределены неравномерно и по длине и по ширине площади скалывания (случай, соответствующий щечковой врубке).

**VI. СМЯТИЕ**

**1. Лабораторные данные**

**1) Особенности работы древесины на смятие**

Смятие является одним из наиболее благоприятных напряженных состояний древесины. Благодаря тому что смятие представляет собою местное поверхностное явление, на характер его почти не влияют пороки древесины (косослой, сучковатость, трещины), сильно сказывающиеся при других напряженных состояниях древесины в конструкции.

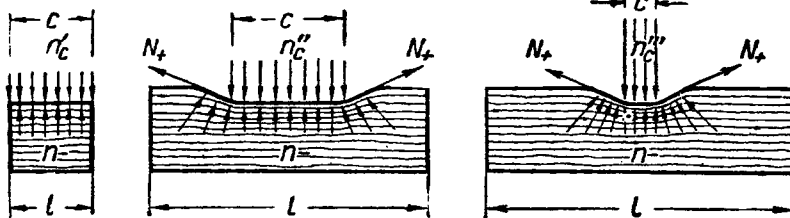
Диаграмма испытаний на смятие указывает на большую пластичность дерева, характеризующуюся значительным участком текучести, весьма ценную при назначении допускаемого напряжения. Благодаря пластичности местная перегрузка одного из работающих на смятие участков вызывает усиленную деформацию его, которая неизбежно вовлекает в работу другие менее нагруженные участки сопряжения; таким образом пластичность гарантирует совместную работу отдельных сжимаемых участков сопряжения и позволяет допускать для смятия меньшие запасы прочности, чем для скалывания и растяжения.

Хорошо иллюстрируя сущность явления, испытания образцов не могут дать однако представления о действительном соотношении между сопротивлениями сжатию и смятию древесины в конструкциях в силу малости размеров образцов и отсутствия в древесине их пороков, обычных в строительной древесине. Очень поучительны в этом отношении испытания, проведенные с основными образцами сечением  $14 \times 14$  см, изготовленными из обычной строительной древесины (табл. 2).

Таблица 2

Временное сопротивление сосновых образцов сечением  $14 \times 14$  см (по данным ЦНИПС)

| Род напряжения   | Временное сопротивление |     |
|--|-------------------------|-----|
|  | в кг/см <sup>2</sup>    | в % |
| Сжатие . . . . .   | 283                     | 100 |
| Смятие при необработанных торцах (из-под пилы) . . . . . | 266                     | 94  |



Фиг. 1. Схемы приложения сил при местном смятии

Как видно из табл. 2, в этом случае сопротивление древесины смятию мало отличается от ее сопротивления сжатию. Объясняется это тем, что обычные пороки древесины сильнее понижают ее сопротивляемость сжатию, чем сопротивляемость смятию (ср. табл. 1).

**2) Смятие вдоль волокон**

При испытании малых чистых кубиков, поставленных один на другой торцами, разрушающие напряжения получаются меньшими, чем при сжатии одного кубика.

Разрушение от смятия вдоль волокон происходит в этом случае от вмятия более плотных слоев древесины в менее плотные с последующим расплющиванием волокон обоих торцов.

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты испытания сосновых образцов в лаборатории ЦНИПС <sup>1</sup>:

Таблица 1

Временное сопротивление сосновых образцов (по данным ЦНИПС)

| Род напряжения   | Временное сопротивление |     |
|--|-------------------------|-----|
|  | в кг/см <sup>2</sup>    | в % |
| Сжатие . . . . .   | 443                     | 100 |
| Смятие при чисто обработанных торцах . . . . .           | 400                     | 90  |
| Смятие при необработанных торцах (из-под пилы) . . . . . | 358                     | 81  |

**3) Смятие поперек волокон**

При смятии поперек волокон следует различать два случая: 1) сплошное смятие (по всей поверхности) и 2) местное смятие (на части поверхности).

Сплошное смятие поперек волокон не отличается от сжатия поперек волокон, так как поверхностный слой одного образца не вминается в другой образец, а только передает ему сжимающую нагрузку.

Местное смятие отличается от сплошного более благоприятной работой древесины. При местном смятии внешняя нагрузка воспринимается частично нижележащими слоями древесины, работающими на сжатие, частично — поверхностным слоем, работающим на растяжение и изгиб (фиг. 1). Поэтому во всех тех случаях, когда возможна хорошая работа на растяжение и изгиб поверхностного слоя древесины (т. е. когда направление сминаемых волокон перпендикулярно сминающей кромке), сопротивление местному смятию значительно выше сопротивления смятию по всей поверхности. Если волокна параллельны сминающей кромке, эта поддержка почти отсутствует, ибо дерево плохо работает на растяжение и изгиб поперек волокон. Этим и объясняется отсутствие ощутимой разницы между

<sup>1</sup> Тахтамышев Г. Г., Отчет по теме «Смятие» за 1933—1934 гг.

сопротивлением древесины смятия 1-го и 2-го рода<sup>1</sup>.

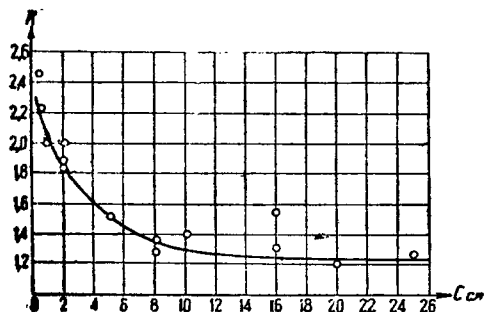
Из сказанного следует также, что при смятии вдоль волокон разница между местным и сплошным смятием не имеет практического значения.

При достаточной длине концов волокон  $\frac{l-c}{2}$  (фиг. 1) и одинаковой деформации  $\lambda$  влияние силы  $N_{\perp}$  на общее сопротивление смятию  $N_c$ , а следовательно и на напряжение смятия  $n_c = \frac{N_c}{F}$ , учитываемое в расчете, тем больше, чем

меньше абсолютная длина  $s$  сминаемой площадки. Зависимость напряжения  $n_c$  от величины  $s$  выражается в этом случае кривой гиперболического вида (фиг. 2), полученной в результате испытаний сосновых образцов, имевших высоту  $h$  от 5 до 25 см.

Определение допускаемого напряжения на смятие 1-го рода может быть произведено путем уменьшения допускаемого напряжения на сжатие поперек волокон  $[n_{\perp}]_{\perp}$  на коэффициент  $k$ . Значение коэффициента  $k$  для сосны в зависимости от абсолютных размеров длины площадки смятия  $s$  можно брать по графику фиг. 2. При этом должна быть обеспечена достаточная длина концов волокон  $\frac{l-c}{2} \geq h$ , где  $h$  — высота бруса, но не меньше 10 см.

Для дуба и других твердых пород зависимость  $k$  от  $s$  еще не установлена, однако можно предполагать, что величины  $k$  будут иметь меньшие значения при тех же значениях  $s$ , чем у сосны, вследствие меньшей разницы между крепостью древесины вдоль и поперек волокон. Наоборот, у более рыхлых пород эта разница больше, и следовательно коэффициент  $k$  будет принимать большие значения.



Фиг. 2. График зависимости между шириной площадки смятия  $s$  и величиной  $k$ , где  $k = \frac{[n_c]}{[n]}$

4) Смятие под углом

При смятии под углом  $\alpha$  сопротивление древесины зависит в основном от крепости древесины вдоль и поперек волокон. Зависимость между  $n_{\alpha}$  и  $\alpha$  наглядно поясняется кривой минимальных напряжений<sup>2</sup>, устанавливающей зависимость между искомым напряжением  $n_{\alpha}$  (фиг. 3), напряжением  $n_{\parallel}$ , действующим по

площадке, нормальной к волокнам, напряжением  $n_{\perp}$ , действующим по площадке, совпадающей с направлением волокон, и  $t_{\parallel}$ . Эти зависимости могут быть выражены в виде трех равенств (1), (2) и (3):

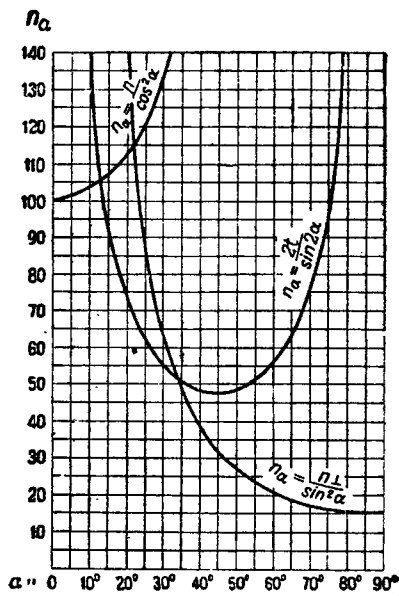
$$n_{\alpha} = \frac{n_{\parallel}}{\cos^2 \alpha}; \quad (1)$$

$$n = \frac{n_{\perp}}{\sin^2 \alpha}; \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{2t_{\parallel}}{\sin 2\alpha}. \quad (3)$$

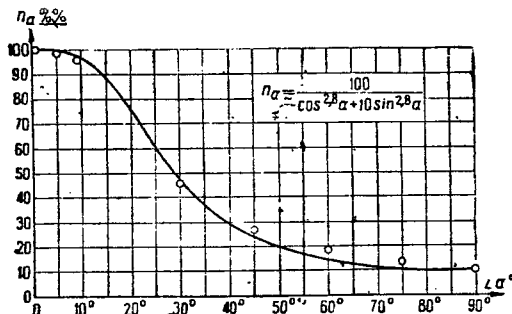


Фиг. 3. Разложение усилий при смятии под углом



Фиг. 4. Построение кривой минимальных напряжений

Приняв в правой части равенств (1)—(3) напряжения  $n_{\parallel}$ ,  $n_{\perp}$  и  $t_{\parallel}$  соответственно равными допускаемым напряжениям на сжатие вдоль волокон  $[n_{\parallel}]_{\parallel}$ , на сжатие поперек волокон  $[n_{\perp}]_{\perp}$  и на скалывание вдоль волокон  $[t_{\parallel}]_{\parallel}$ , получим три кривые, приведенные на фиг. 4. Эти кривые дают для любого угла  $\alpha$  величину допускаемого напряжения  $[n_c]_{\alpha}$  из условий: сжатия вдоль волокон, сжатия поперек волокон и скалывания



Фиг. 5. Зависимость между сопротивлением смятию  $n_{\alpha}$  и углом  $\alpha$  для воздушно-сухой сосны в процентах от  $n_c$  при  $\alpha = 0^{\circ}$

вдоль волокон. Наименьшая из этих трех величин для каждого угла  $\alpha$  и будет допускаемым напряжением  $[n_c]_{\alpha}$ . Соединяя плавной кривой минимальные значения ординат всех трех кривых, получим кривую допускаемых напряжений на смятие в зависимости от угла  $\alpha$ .

Указанную зависимость можно получить также, принимая для строения древесины ромби-

<sup>1</sup> Смятием 1-го рода называется смятие по всей ширине бруса на части его длины, смятием 2-го рода — смятие на части ширины и длины.

<sup>2</sup>  $\alpha$  — угол между направлениями волокон и усилием смятия.

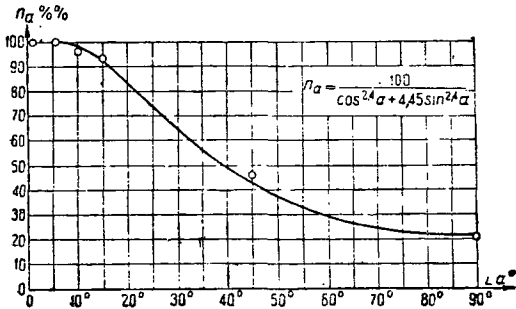
<sup>3</sup> Ф. Лансерман Ю. Н., Влияние наклона волокон на механические свойства древесины сосны, ЦАГИ, вып. 78, 1931 г.



ческую систему кристаллов<sup>1</sup>. Получающаяся в этом случае формула

$$n_a = \frac{n_{\parallel}}{\cos^2 \alpha + \frac{n_{\parallel}}{n_{\perp}} \sin^2 \alpha} \quad (4)$$

хорошо согласуется с опытными данными. Показатель степени для различных напряженных состояний древесины имеет различные значения. При смятии  $\gamma$  колеблется от 2,8 для хвойных до 2,4 для твердых пород. На фиг. 5 и 6 даны теоретическая кривая и результаты испытаний сосны и дуба, проведенные в лаборатории ЦНИПС.



Фиг. 6. Зависимость между сопротивлением смятию  $n_a$  и углом  $\alpha$  для воздушно-сухого дуба в процентах от  $n_a$  при  $\alpha = 0^\circ$

## 2. Расчет элементов деревянных конструкций на смятие

В табл. 3 приведены допускаемые (согласно ОСТ 7063) напряжения на смятие для сосны и дуба.

Таблица 3

Допускаемые напряжения на смятие для дуба и сосны

| Род напряжений  | Сосна       |         | Дуб         |         |
|---|-------------|---------|-------------|---------|
|   | $\parallel$ | $\perp$ | $\parallel$ | $\perp$ |
| 1. Смятие по всей поверхности                                   | 80          | 15      | 110         | 30      |
| 2. Смятие в щелевых и монтажных врубках                         | 80          | 20      | 110         | 40      |
| 3. Смятие в дисковых шпонках                                    | 80          | 35      | 110         | 65      |
| 4. Смятие под шайбами и в нагельных сопряжениях                 | 80          | 45      | 110         | 85      |
| 5. Смятие на части длины, в кольцевых шпонках и лобовых врубках | 80          | 25      | 110         | 50      |

Для промежуточных углов  $\alpha$  величины допускаемых напряжений на смятие  $[n_c]_\alpha$  определяются по графикам фиг. 7 и 8 или по формуле:

$$[n_c]_\alpha = \frac{[n_c]_{\parallel}}{1 + \left( \frac{[n_c]_{\parallel}}{[n_c]_{\perp}} - 1 \right) \sin^2 \alpha} \quad (5)$$

где  $[n_c]_{\parallel}$  и  $[n_c]_{\perp}$  — соответствующие для данного случая допускаемые напряжения на смятие при углах  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 90^\circ$ . Направление силы смятия принимается при этом всегда нормальным к площадке смятия.

<sup>1</sup> Th. Köllmann, Der Bauingenieur № 19/20 от 11/V 1934 г.

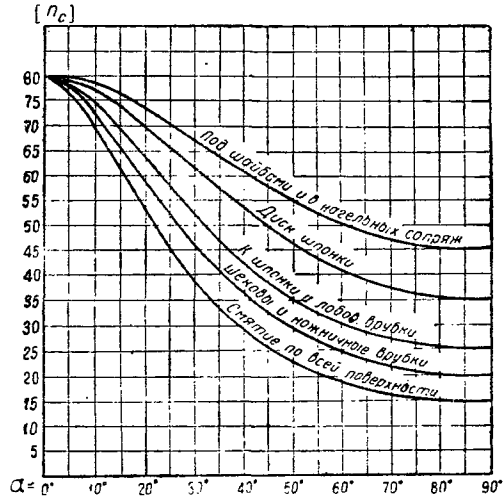
Расчет на смятие производится по формуле:

$$\frac{N_c}{F} \leq [n_c] \quad (6)$$

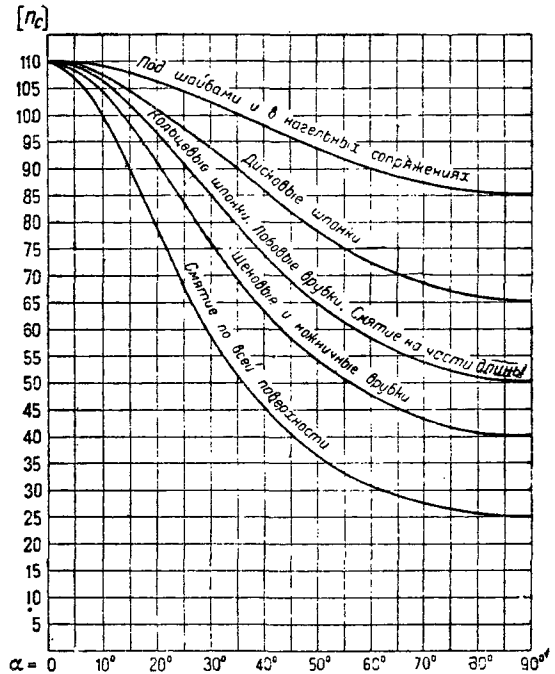
где  $N_c$  — сила смятия;

$F$  — площадь смятия;

$[n_c]$  — допускаемое напряжение смятия для данного случая.



Фиг. 7. График допускаемых напряжений на смятие в зависимости от угла  $\alpha$  для воздушно-сухой сосны



Фиг. 8. График допускаемых напряжений на смятие в зависимости от угла  $\alpha$  для воздушно-сухого дуба

Поправки на марку леса, влажность и класс сооружения производятся по указаниям единых норм.

## РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

# СОПРЯЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Проф. Г. Г. КАРЛСЕН

### 1. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ И КОНСТРУИРОВАНИИ СОПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ

#### 1. Основные положения

Кустарное производство древности заставляло строителя внимательно выискивать и использовать в соответствии с заданием индивидуальные особенности, ненормальности роста и даже пороки дерева. Корни и сучья, «нокорь», «мутовки», «пасынки», «крень» нередко определяли основные формы кустарного деревянного судостроения, детали примитивного жилищного строительства и формы кустарных орудий сельскохозяйственного производства и средств сообщения.

Современное индустриальное строительство широчайших масштабов и высоких темпов исключает возможность индивидуального отбора случайных свойств стройматериалов.

Массовое строительство, связанное с многократным повторением однородных производственных операций над однородными элементами, может быть индустриализовано только в условиях: 1) членения сооружения на более или менее дробные элементы и 2) стандартизации этих элементов.

Стандартизация элементов должна в то же время обеспечивать возможность получения всего необходимого для строительства ассортимента конструктивных решений путем возможно более простого сопряжения этих элементов между собой.

В воздушно-сухих инженерных деревянных конструкциях такой основной элементарной стандартной единицей не могут служить бревна даже прямо и ошкуренные, так как вследствие конической формы они с трудом сопрягаются, не дают равномерных конструкций, высыхая же, неизбежно покрываются глубокими трещинами.

Напротив, доски и брусья легко, без растрескивания, подвергаются облагораживающему воздействию горячей камерной сушки и сравнительно просто сопрягаются в сплошные или ажурные «панели».

Поэтому в инженерных деревянных конструкциях именно доска и брус и являются основными рабочими стандартными единицами.

Влияние на крепость деревянных конструкций отдельных сучков, косослоя и других природных дефектов дерева, неизбежных в каждой доске, можно обезвредить применением так называемого «принципа дробности», характеризуемого раздроблением силового потока и восприятием его рядом параллельно работающих элементов конструкции. Принцип дробности позволяет компенсировать дефект одного элемента повышенным использованием нормальной крепости смежных с ним элементов. По теории вероятности можно не опасаться совпадения однородных пороков в одном и том же рабочем сечении и потому можно считать, что достаточная надежность деревянной конструкции в целом всегда обеспечена за счет некоторого, вполне допустимого перенапряжения отдельных ее частей.

В особо ответственных сооружениях вообще не следует ставить надежность деревянных конструкций в зависимость от крепости одного из ее элементов.

Чем мельче проведено членение элементов, чем большее число их приходится на каждое рабочее сечение, тем меньше влияние дефектов каждого из них на надежность работы конструкции в целом.

В этом смысле фанерные деревянные конструкции, в которых толщина элементарного шпона доведена до 1 мм, осуществляют указанный принцип дробности наиболее совершенно и обеспечивают даже при значительном количестве элементарных дефектов большую надежность работы конструкции в целом.

Дальнейшее дробление дерева на отдельные волокна и фибриллы, находящее применение в бумажном, картонном и магнезитовом производстве, и тем более химическое расщепление древесины в пластмассах лишают дерево его лучших конструктивных качеств — большой удельной крепости, рассредоточенно, но организованно работающих древесных волокон и гвоздистости — и поэтому для строительства практического значения не имеют.

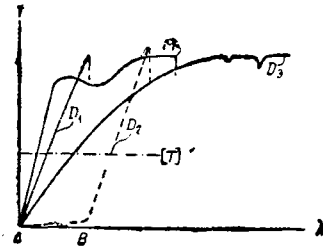
Совместная «кооперированная» работа элементов деревянной конструкции возможна лишь при

наличии достаточной податливости в работе каждого из них и достаточной в то же время монолитности их сопряжения.

Только в том случае, если неизбежные внецентренность и неравномерность загрузки и неизбежные отступления от идеальной однородности материала компенсируются достаточными по величине упругими или пластическими деформациями, без снижения сопротивления, можно рассчитывать на замещение слабых элементов более сильными — смежными с ними — в порядке «взаимного страхования».

Аналогичное явление имеет место в четырех- и шестисосных «грузовиках». Внутренняя статическая неопределенность их приводила бы к опиранию машины всего лишь в двух или в лучшем случае трех точках и к последовательному разрушению отдельных перенапряженных частей ее, если бы совместная работа их не обеспечивалась упругой податливостью рессор и пневматических резиновых шин.

Совместная параллельная работа частей деревянной конструкции может перейти в последовательное разрушение их, если каждая из частей не в состоянии сохранить полную силу рабочего сопротивления при деформациях, достаточных для включения в совместную работу всех частей конструкции.



Фиг. 1

Основное конструктивное преимущество стали перед деревом определяется наличием характерной для работы стали зоны значительных пластических деформаций, протекающих при напряжениях несколько ниже временного сопротивления материала (кривая  $M$  фиг. 1).

Если разрушение происходит от разрыва или от скалывания вдоль волокон, для работы дерева вдоль волокон характерен внезапный обрыв кривой  $D_1$  (фиг. 1) при незначительных деформациях. Количество работы, затрачиваемой на разрушение металлического стержня, значительно превышает количество работы, затрачиваемой на скалывание или на разрыв равнопрочного деревянного стержня.

Если же разрушение определяется смятием дерева, то работа его характеризуется пологой кривой  $D_3$  (фиг. 1); кривая  $D_3$  тем положе, чем больше угол  $\alpha$  между силой и волокном.

Если разрушение деревянной конструкции определяется разрывом или скалыванием вдоль волокон жестко сопряженных между собой элементов, деформации, предшествующие разрушению одного из элементов, могут оказаться недостаточными для вовлечения в совместную работу всех параллельно работающих элементов, и конструкция может разрушиться в результате последовательного перенапряжения и разрушения ее частей.

В металлических конструкциях включение в работу всех элементов определяется пластическими деформациями самого материала, в деревянных же конструкциях совместная работа частей должна быть обусловлена податливостью сопряжений, разрушение которых должно требовать затраты большого количества работы.

Только последовательным применением принципа дробности можно обезвредить местные дефекты дерева; только плотными и податливыми сопряжениями можно обеспечить совместную работу дробных элементов, составляющих конструкцию.

Чем больше начальные «рыхлые» деформации сопряжения (участок  $A-B$  кривой  $D_2$ ) (фиг. 1), т. е. чем меньше начальная плотность сопряжения и чем круче при этом кривая деформаций, тем больше опасность разрушения одного из элементов конструкции до того, как смежный с ним элемент успеет включиться в работу (кривые  $D_1$  и  $D_2$ ).

Поэтому жесткие хрупкие сопряжения, которые даже при очень тщательном исполнении неизбежно обладают разной степенью начальной «рыхлости», вообще должны быть изъяты из капитальных деревянных конструкций.

Только плотные и достаточно податливые сопряжения, дающие характерную для смятия кривую работы  $D_3$  (фиг. 1), могут, компенсируя малую пластичность материала, обеспечить новым деревянным конструкциям надежность не ниже надежности металлических конструкций.

## 2. Характеристика основных типов сопряжений

Сопряжения элементов деревянных конструкций автоматически должны обеспечивать начальную плотность соединения.

Разрушение их должно определяться не скалыванием, а смятием; эти два основных положения определяют развитие сопряжений в новых деревянных конструкциях.

### 1) Врубки

Переход от жестких бисектрисных — щековых и лобовых (кроме трехлобовых) — врубок к более податливым — ортогональным — оправдан стремлением увеличить пологость кривой диаграммы  $D_3$ , увеличить равномерность распределения скалывающих напряжений и тем самым уменьшить опасность скалывания врубки по частям<sup>1</sup>.

Начальная плотность сопряжений на врубках должна быть обеспечена индустриальной заготовкой с точным шаблонированием элементов и с применением правильно высушенного леса.

Деревянные конструкции на врубках труднее, требуют внимательного отбора материала и квалифицированного исполнения; в них трудно приложим принцип дробности. В дальнейшем применение деревянных конструкций на врубках, повидимому, будет ограничено сборно-разборными и безметалльными, нержавеющейими деревянными конструкциями.

### 2) Сопряжения на деревянных шпонках

Значительно легче индустриализируются сопряжения на специальных «кренах», работающих на сжатие (шпонки) и на изгиб (нагели).

<sup>1</sup> Подробнее см. «Врубки» (стр. 53 и след.).

В развитии безметалльных шпоночных сопряжений внутреннее противоречие между требованиями их мощности сопряжения и податливости его, необходимой в многорядовых сопряжениях, нашло свое разрешение в пластинчатых нагелях. Благодаря применению нового промышленного метода прорезывания призматических гнезд центральным станком.

В старой поперечной шпонке (фиг. 2, а) плотный пучок волокон не дает податливости в поперечном сечении дерева и возможность путем подлинкивания обеспечить плотное заложение гнезда даже при неточном его изготовлении.

В противопоставлении этой маломощной, но плотной и податливой поперечной шпонки, мощной, но крайне жесткой продольной шпонке (фиг. 2, б) не учтены основные требования, обу-



Фиг. 2

сводящие надежность работы сопряжений деревянных конструкций: даже улучшенная смятени форма (фиг. 2, в) косой продольной шпонки не избавляет сопряжение от начальной податливости и не обеспечивает ему податливости, необходимой для совместной работы ряда шпонок. Надежность многорядовых сопряжений на продольных шпонках на деле оказалась недостаточной.

Пластинчатые нагели полностью сохраняют податливость поперечных шпонок, обладая в то же время большей мощностью, поскольку разрушение пластинчатых нагелей определяется не скалыванием поперек волокон, а смятием и изгибом (фиг. 2, г). Начальная плотность сопряжения на нагелях, автоматически обеспечиваемая работой центральным станком, может быть еще более увеличена за счет поперечного разбухания предварительно подсушенных (до 2—3% влажности) пластинчатых нагелей.

Если при этом учесть, что пластинчатый нагель обладает двухсторонним действием, что он, как и все нагели, не дает распора и следовательно может быть отнесен к безметалльным сопряжениям, следует признать, что после изобретения пластинчатых нагелей применение продольных призматических деревянных шпонок вообще стало целесообразным.

**В) Сопряжения на металлических шпонках**

Несколько сложнее оказалась индустриализация металлических узловых шпоночных соединений, связанная с изготовлением специальных аппаратов и приспособлений.

Увеличен кольцевая шпонка (Тухнерера), позволила весьма рациональную для центральных узловых соединений кольцевую форму, диспердировала себя вследствие чрезмерной жесткости под давлением сопряжений.

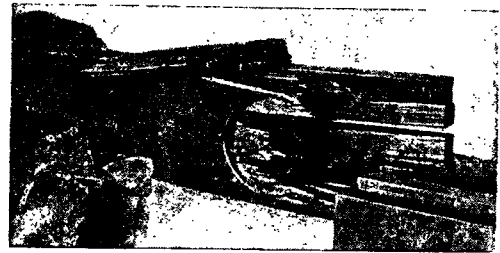
Неудачное неплотное осуществление сопряжений на кольцевых шпонках кустарными методами и применение сырого леса низкого качества выявили существенные им коренные недостатки и определили за астрофизически низкую надежность кустарных деревянных конструкций на гладких кольцевых шпонках. Благоприятное существование в эксплуатации ряда советских

и заграничных деревянных конструкций на этих шпонках не может служить показателем достаточной надежности их. На фиг. 3 показано «хрупокое» (внезапное) разрушение от скалывания и частичного разрыва растянутого стыка на кольцевых шпонках в однорядовом сопряжении при хорошем качестве работы и применении подсушенных лесоматериалов.

Зубчато-кольцевая шпонка автоматически обеспечивает начальную плотность соединения.

Разрушение сопряжений на зубчато-кольцевых шпонках характеризуется смятием гнезда при значительных деформациях даже в растянутых стыках.

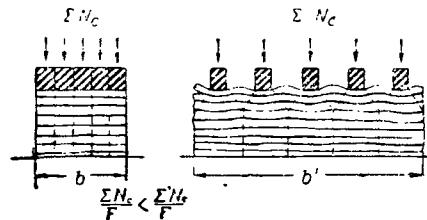
После перехода к массовому производству зубчато-кольцевых шпонок и необходимых для них обжимных приспособлений применение гладкой кольцевой шпонки, и то лишь в улучшенном виде (ромбическая шпонка), может быть допущено только в сборно-разборных конструкциях.



Фиг. 3

Зубчато-кольцевая шпонка является характерным примером приложения принципа дробности к решению самой крепости. Равномерно распределенное по всему кольцу дробное и точечное приложение усилий обуславливает значительное увеличение поверхности и фронта скалывания, исключаяющее хрупкое разрушение сопряжения от скалывания.

Кроме того дробное приложение усилий в сопряжениях поперек волокон вовлекает в работу существенно уширенный фронт сопротивления смятию ( $b' > b$ , фиг. 4).



Фиг. 4

Этим вовлечением в работу большого количества волокон определяется увеличенное расчетное сопротивление поперек волокон зубчато-кольцевой шпонки, в 2 1/2—3 раза превышающее соответственное расчетное сопротивление гладкой кольцевой шпонки того же диаметра.

**4) Нагельные сопряжения**

Не менее эффективно приложение принципа дробности в нагельных сопряжениях.

В сопротивлении скалыванию решающее значение имеет не столько длина скалываемой по-

верхности, сколько ширина ее, т. е. фронт приложения скалывающих усилий.

При уменьшении диаметра нагеля с сохранением того же фронта скалывания существенно снижается напряженность сопротивления скалыванию и вместе с тем увеличивается гибкость нагеля, т. е. податливость всего сопряжения в целом.

При жестких нагелях больших диаметров разрушение растянутого стыкового нагельного сопряжения всегда определяется внезапным его скалыванием. В этом отношении нагель из высококоротной стали не имеет никаких преимуществ перед простым дубовым или березовым нагелем; наоборот, обмятие дуба поперек волокон и поперечный изгиб его увеличивают податливость сопряжения и тем самым способствуют лучшему распределению нагрузки между отдельными нагелями.

Чем меньше диаметр нагелей, тем меньше опасность скалывания нагельного сопряжения.

Гвозди диаметром не выше 6 мм обеспечивают максимальную надежность соединения, мало зависящую от наличия случайных дефектов, сучков, косослоя и трещин в сопрягаемых частях.

Дробное приложение усилий обеспечивает значительную мощность работы гвоздевого сопряжения и поперек волокон; как и зубчато-кольцевая шпонка, гвоздь поперек волокон работает не слабее, чем вдоль волокон.

Начальная плотность гвоздевых сопряжений обеспечивается забивкой гвоздей в сплоченные пакеты без предварительной прорезки или сверления гвозд.

Большое значение в работе гвоздевых сопряжений имеют также плотное защемление гвоздя в гнезде и достаточное сопротивление его выдерживающим усилиям; эта связывающая роль гвоздевых сопряжений и исключительная быстрота и простота гвоздевых работ определяют основные преимущества гвоздевых сопряжений перед нагельными.

Большомерные гвозди «крестового» сечения сохраняют все эти преимущества при условии применения скоростного огнестрельного метода их забивки или специальных заточек острия.

С обеспечением массового производства гвоздевых патронов и гвоздеметов можно будет заменить гвоздями крестового сечения болтовые нагели не только в мостах и сводах-оболочках больших пролетов, но и в стропильных фермах и арках средних пролетов; однако в строительстве ближайших лет тонкие болтовые нагели еще будут иметь широкое применение.

### 5) Прочие виды сопряжений

Значительно уже использование в деревянных конструкциях крепей, работающих на сдвиг (клеи) и на растяжение (стяжные болты, скобы и другие крени преимущественно монтажного значения).

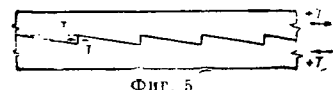
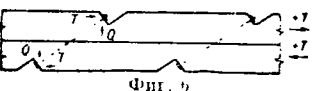
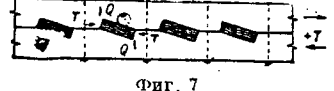
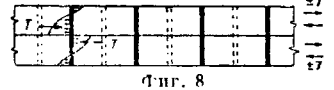
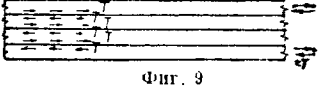
Ограниченность применения в нашем строительстве клея определяется главным образом трудностями технологического порядка: недостатком пиломатериалов, прошедших камерную сушку, недостатком в производстве водоупорных клеев, в прессовом оборудовании и опытных кадров столяров. Однако даже в Германии, несмотря на высокую степень механизации производства деревянных конструкций, клееные конструкции смогли получить лишь ограниченное применение, главным образом вследствие чрезмерной жесткости клеевых сопряжений.

Отсутствие податливости в клееном шве обусловливает при усушке дерева образование трещин в толстых пакетах иногда даже при продольном сплачивании досок. Вследствие существенного различия коэффициентов продольной и поперечной усушки дерева, выявляющегося при пересечении элементов под углом, обычные узловые сопряжения на клею вообще невозможны.

Только в клееной фанере усушка и разбухание тонких шпонов уже не в состоянии разорвать клееного шва.

Таблица

Основные виды сопряжений элементов деревянных конструкций

| Схема   | Наименование                   | Спец. рабочие «крепы»  | Распор и связь   |
|---|--------------------------------|--|--|
| <br>Фиг. 5 | Сопряжения на врубках          | Специальных рабочих крепей нет (как правило, знакопостоянная работа) | Распора нет. Связь только за счет трения в торцах, нужны монтажные болты |
| <br>Фиг. 6 | Сопряжения на растянутых креях | Крепы есть и работают на растяжение (знакопостоянно)                 | Распор есть — отрицательный (обжатие), обеспечивает надежную связь       |
| <br>Фиг. 7 | Сопряжения на шпонках          | Крепы есть и работают на сжатие (знакопостоянно)                     | Распор есть — положительный; связывающие болты обязательны               |
| <br>Фиг. 8 | Сопряжения на нагелях          | Крепы есть и работают на изгиб (знакопеременно)                      | Распора нет, нужны только монтажные связи (болты)                        |
| <br>Фиг. 9 | Сопряжения на клею             | Крепы есть и работают на сдвиг (знакопеременно)                      | Распора нет, связь создается самой работой клееного шва                  |

В фанерных (гвоздевых и клееных), сборных деревянных конструкциях и в гнутых элементах сборных деревянных конструкций из тонких досок и брусочков водупорные клеи с переходом на заводское производство деревянных конструкций смогут найти оптимальные формы строительного применения.

### 3. Выводы

В результате завершения индустриализации производства деревянных конструкций существовавшее до сих пор бессмысленное многообразие типов сопряжений будет заменено небольшим количеством стандартных сопряжений, из которых основными — оптимальными — будут:

А) безметалльные: 1) узловые врубки, 2) цилиндрические и пластинчатые деревянные нагели, 3) клей;

Б) металлические: 4) зубчато-кольцевые шпонки, 5) гвозди — проволоочные и крестовидного сечения, 6) стяжные болты и 7) когтевые шайбы.

Все виды сопряжений элементов деревянных конструкций могут быть систематизированы по основной работе сопрягающих крепей, либо вовсе отсутствующих (во врубках) либо работающих на растяжение, сжатие (шпонки), изгиб (нагели) или на сдвиг (клей).

На фиг. 5, 6, 7, 8 и 9 (см. таблицу) показаны первичные схемы основных типов сопряжений элементов деревянных конструкций, из которых, логически развиваясь, сформировались новые современные формы сопряжения элементов.

*Инж. М. Д. АННЕНКОВ*

## II. ВРУБКИ

### 1. Общие указания для проектирования и расчета врубок

Врубкой называется сопряжение элементов деревянных конструкций, передающее усилия от одного элемента другому непосредственно через плоскости смятия и скалывания, без вспомогательных рабочих частей.

Ниже рассматриваются только современные врубки, применяемые в инженерных конструкциях; устаревшие плотничные врубки, находящие еще применение в жилищном строительстве, не приводятся.

При проектировании врубок надлежит руководствоваться следующими указаниями ТУ и Н.

§ 64. При проектировании сопряжений на врубках следует по возможности применить врубки, в которых рабочие поверхности смятия получают сквозным пропилком; применение врубок, требующих долбежной работы, не рекомендуется.

§ 65. Врубки, как правило, должны быть просты в исполнении, иметь по возможности ясную схему распределения усилий по рабочим поверхностям и доступны для осмотра при эксплуатации конструкции. Глухих гвоздей и врубок, задерживающих воду, следует избегать.

§ 66. В скатых стыках или пологих сопряжениях передача усилий должна по возможности происходить непосредственно «торец в торец» — без промежуточных деревянных подушек или элементов с поперечным направлением волокон.

§ 67. В случае передачи усилий в одной и той же врубке одновременно непосредственно рабочему элементу и «двухстенно» (через вкладыши или накладки) в работе врубки следует учитывать сопротивление смятию вкладышей с коэффициентом 0,50—0,80 в зависимости от плотности и жесткости присоединения и т., а также в зависимости от большей или меньшей опасности пересопряжения основных рабочих элементов (скалывание) <sup>1</sup>.

§ 68. Ввиду трудности в производстве работ избегать наклики в местах, ослабленных врубками, сучков, трещин, косослоя и других пороков, а также ввиду наибольшей опасности загнивания древесины в надрезанных местах, ослабление элемента конструкции врубками во всяком случае не должно превышать:

|                         |      |
|-------------------------|------|
| при симметричной врубке | 0,60 |
| » односторонней »       | 0,50 |

от полной площади сечения.

§ 69. В многорядовых сопряжениях и в статически неопределимых системах следует проектировать площадь скалывания, исходя из уменьшенного на 20% допускаемого напряжения [4].

Основные усилия, учитываемые при расчете врубок, определяются следующим образом.

Сминающее усилие определяется как результат графического разложения действующего сжимающего усилия по направлениям, перпендикулярным плоскостям смятия.

Допускаемое напряжение смятия определяется в зависимости от угла  $\alpha$  между действующим усилием и направлением волокон <sup>2</sup>. Кроме того вводятся поправочные коэффициенты  $k$ , зависящие от влажности, класса сооружения и марки леса.

Скалывающее усилие определяется с учетом трения ( $k_{тр} = 0,3$ ) только в том случае, если обеспечена работа стяжного болта независимо от начального его натяжения (см. ТУ и Н, § 6 и 7).

Необходимая по расчету длина плоскости скалывания должна быть не более семикратной глубины врубки.

Если эта длина получается по расчету менее четырехкратной глубины врубки, то ее следует назначать все же не менее четырехкратной глубины врубки.

Расчет ослабленных врубкой элементов (на сжатие или растяжение) должен производиться с учетом ослабления сечения, причем следует также учитывать возможность появления в ослабленном сечении изгибающих моментов от внецентренно действующих сил.

### 2. Расчет и конструирование узловых сопряжений на врубках

Расчет врубок в основном сводится к определению расчетных усилий, действующих на отдельные плоскости смятия и скалывания, и проверке напряжений по этим плоскостям. Во всех случаях практики сминающие и скалывающие усилия могут быть определены графическим разложением усилий, действующих в сопрягаемых элементах конструкции. Соответствующие силовые многоугольники приведены при рассмотрении отдельных врубок. Графический расчет дает простое, быстрое и достаточно точное для практических целей решение. Для полноты параллельно приводятся формулы аналитического расчета врубок, существенно облегчаемого применением специальных графиков.

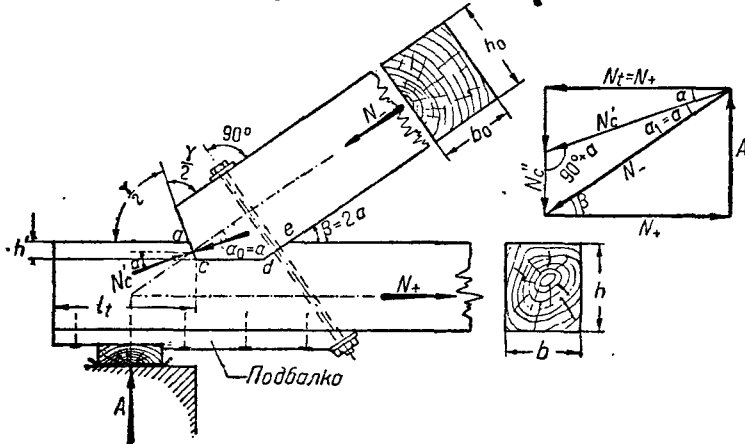
<sup>1</sup> Рекомендовать такое сопряжение нельзя.

<sup>2</sup> См. «Смятие», стр. 46 и след.

Для узловых сопряжений элементов инженерных конструкций наиболее часто применяются врубки: лобовые, щековые, трехлобовые и ножничные.

1) Лобовые врубки с одиночным зубом

Основным типом лобовой врубки с одиночным зубом является биссектрисная врубка (фиг. 1).



Фиг. 1. Неправильная форма лобовой врубки

в которой плоскость смятия  $\bar{ac}$  направлена по биссектрисе угла  $\gamma$ , а плоскость смятия  $\bar{cd}$  — параллельно оси растянутого элемента. При таком расположении плоскостей смятия усилие в подкосе может быть разложено на две составляющие  $N_{c'}$  и  $N_{c''}$ , являющиеся расчетными для плоскостей  $ac$  и  $cd$ . При расчете на смятие силами трения пренебрегают. Однако исследования показали, что усилие  $N_{c''}$  обычно погашается силой трения в плоскости  $ac$  и что фактически плоскость  $\bar{ac}$  воспринимает полное усилие  $N_-$ .

Ввиду того что коэффициент трения (при покое) дерева по дереву в среднем доходит до  $k_{mp} = 0,65$  (соответствует углу трения  $\alpha_{mp} = 33^\circ$ ), то, очевидно, при  $\alpha_1 < \alpha_{mp} = 33^\circ$  площадка  $ac$  целиком воспринимает все усилие  $N_-$ , площадка  $cd$  не работает и корытообразное гнездо  $acde$  (фиг. 1) поэтому неконструктивно. Направлять плоскость  $\bar{ac}$  по биссектрисе также не имеет смысла, так как это отнюдь не улучшает условий смятия. Единственной конструктивно оправданной лобовой вружкой следует поэтому признать ортогональную к подкосу (фиг. 2).

Глубина врезки  $h'$  не должна превышать  $0,40 h$  для элементов круглого сечения или из брусьев и  $0,30 h$  для элементов из досок на ребро.<sup>1</sup>

Для устранения дополнительных изгибающих моментов в подкосе рекомендуется плоскость смятия  $ac$  направлять по оси подкоса.

Во избежание же дополнительных моментов в ослабленном сечении растянутого пояса — центрировать врубку по центру тяжести этого сечения.

Ввиду возможности появления в растянутом поясе неучтенных моментов рекомендуется ста-

вить «подбалку», прикрепляемую к поясу гвоздями или шурупами. Подбалка кроме того позволяет легко фиксировать положение опорной подушки и создает упор для шайбы стяжного болта.

Постановка стяжного болта обязательна, но работа его по ТУ и Н при расчете не учитывается.

Стяжной болт вступает в работу при аварии узла вследствие скалывания опорной призмы и предупреждает мгновенное разрушение всей конструкции.

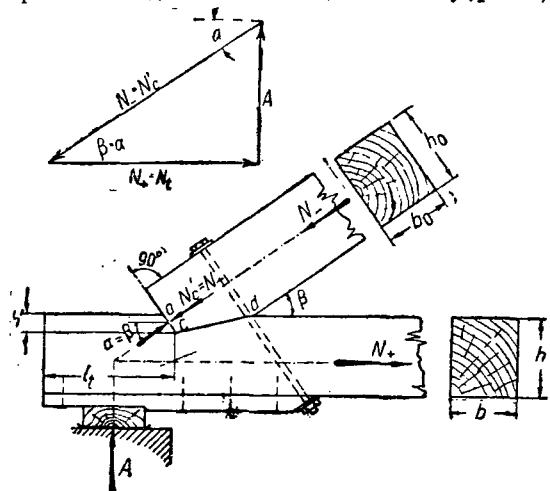
Диаметр стяжного болта назначается по конструктивным соображениям в пределах от 12 до 19 мм в зависимости от размеров сопрягаемых элементов.

При расчете лобовой врубки основные допускаемые напряжения на скалывание и смятие принимаются равными (для сосны):

на смятие:  
 $[n_c]_{\alpha=0} = 80$   
 $[n_c]_{\alpha=90} = 25 \text{ кг/см}^2;$

на скалывание:  
 $[t] = 12 \text{ кг/см}^2.$

Расчет лобовой врубки заключается в определении необходимой глубины врезки  $h'$  и длины скалываемой части  $l_t$  (фиг. 2).



Фиг. 2. Рекомендуемый тип лобовой врубки

Для лобовой врубки с одиночным зубом расчетные формулы имеют вид:

$$F_c k_n \cdot [n_c]_{\beta} \geq N_c'; \tag{1}$$

$$F_t k_n [t] \geq N_+ = N_t, \tag{2}$$

где  $N_c' = N_-$ ;

$$N_t = N_c' \cos \beta = N_- \cos \beta.$$

Для прямоугольного сечения (фиг. 2):

$$F_c = ac \cdot b = \frac{h'}{\cos \beta} \cdot b; \quad F_t = l_t \cdot b.$$

Таким образом из условия смятия плоскости  $\bar{ac}$  из ф-лы (1):

$$h' = \frac{N_- \cdot \cos \beta}{b \cdot k_n [n_c]}; \tag{3}$$

<sup>1</sup> Применение лобовой врубки для дощатых конструкций должно быть оправдано особыми соображениями, так как другие типы врубок в этом случае более выгодны.

из ф-лы (2):

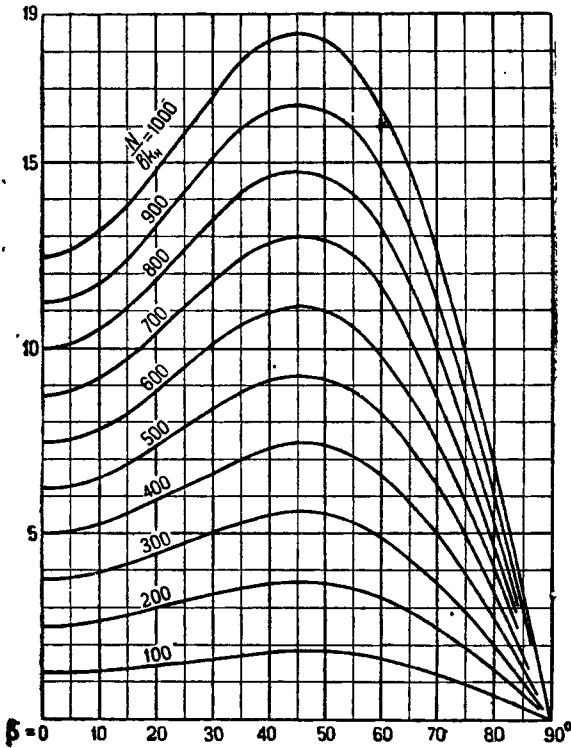
$$l_t = \frac{N_- \cdot \cos \beta}{b \cdot k_n [t]} = \frac{[n_c]_\beta}{[t]} \cdot h'.$$

Расчетная длина плоскости скалывания  $l_t$  должна быть не более семикратной глубины врезки, т. е. должно быть соблюдено условие:

$$l_t = \frac{[n_c]_\alpha}{[t]} \cdot h' \leq 7h'.$$

Глубина врезки  $h'$  может быть определена непосредственно по графику (фиг. 3).

Для круглого сечения (фиг. 4) урния (1) — (2) остаются в силе, но в отличие от прямо-



Фиг. 3. График определения глубины врезки  $h'$

угольного сечения площадь смятия определяется по формуле:

$$F'_c = \frac{d_0^2}{8 \cos \beta} \left( \frac{\pi}{180} \varphi - \sin \varphi \right) = \frac{\omega}{\cos \beta} \quad (4)$$

и соответственно

$$F_t = l_t \cdot b, \quad (5)$$

где  $b = 2 \sqrt{h'(r_0 - h')}$ ,

$\omega$  — площадь сегмента при глубине врезки  $h'$ ;  
 $\varphi$  — центральный угол сектора, определяемый по ф-ле (6):

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{b}{d_0} = \frac{2 \cdot \sqrt{h'(d_0 - h')}}{d_0}. \quad (6)$$

Подставляя значения  $F'_c$  и  $F_t$  в ф-лы (1) и (2), получим:

$$\omega = \frac{N_- \cos \beta}{k_n \cdot [n_c]_\beta}; \quad (7)$$

$$l_t = \frac{N_- \cos \beta}{b \cdot k_n [t]} = \frac{\omega [n_c]_\beta}{b [t]} \leq 7h'. \quad (8)$$

Площадь сегмента  $\omega$  определяет глубину врезки  $h'$  при данном диаметре  $d_0$ .

Для облегчения расчета приведены графики фиг. 5 и 6, непосредственно дающие зависимость между  $\omega$ ,  $h'$  и  $d_0$  (фиг. 5) и между  $h'$ ,  $b$  и  $d_0$  (фиг. 6).

При пользовании графиками фиг. 5 и 6 расчет лобовой врубki при круглых элементах производится так:

- по ф-ле (7) определяется потребная из условия смятия площадь сегмента  $\omega$ ;
- по графику фиг. 5 для определенных  $\omega$  и  $d_0$  находится  $h'$ ;
- по графику фиг. 6 для определения  $h'$  и  $d_0$  находится  $b$ ;
- после определения  $\omega$  и  $b$  при заданных  $[n_c]_\alpha$  и  $[t]$  находится по ф-ле (8)  $l_t$ .

**Пример 1.** Требуется рассчитать ортогональную лобовую врубку (фиг. 2).

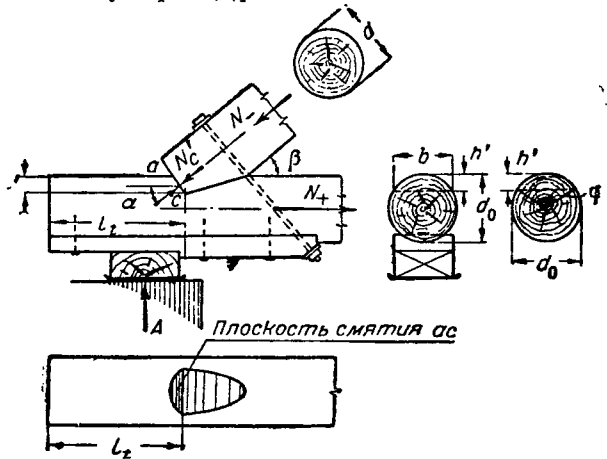
Дано:  $N_- = 6000$  кг,  $b = 15$  см,  $h = 18$  см,  $\beta = 40^\circ$ . Поправочный коэффициент к основному допускаемому напряжению  $k_n = 0,65$ .

Определение глубины врезки  $h'$  производим по графику фиг. 3.

Параметр:

$$p = \frac{N_-}{k_n b} = \frac{6000}{0,65 \cdot 15} = 620.$$

По графику фиг. 3 находим:  $h' = 11,3$  см [соответствует ф-ле (3)].



Фиг. 4. Лобовая врубка в элементах круглого сечения

Ввиду того что глубина врезки более 0,40  $h$ , сечение элементов должно быть увеличено или же применена врубка с двойным зубом (см. ниже).

Высота бруса, соответствующая глубине врубki  $h' = 11,3$  см, равна:

$$h = \frac{11,3}{0,4} = 28,2 \text{ см.}$$

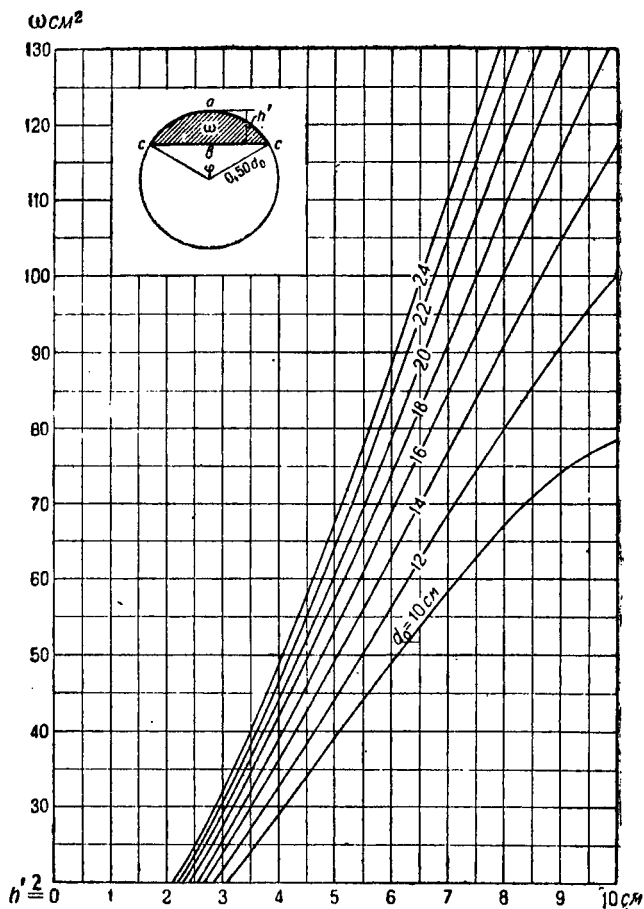
При заданном  $\beta = 40^\circ$  потребная площадь смятия  $F'_c = \frac{h'b}{\cos \alpha}$  есть величина постоянная при всех соотношениях между  $b$  и  $h$ , и следовательно  $h \cdot b = \text{const}$ . Это позволяет использовать найденное значение  $h = 28,2$  см для окончательного назначения размеров сечения:

$$h \cdot b = 28,2 \cdot 15 = 423 \text{ см}^2.$$

Принимаем сечение  $h \cdot b = 21 \cdot 20 \hat{=} 420 \text{ см}^2 \approx 423 \text{ см}^2$ . Глубина врубki  $h' \approx 0,4 h = 8,5$  см. Длина скалываемой части:

$$l_t = \frac{[n_c]_\alpha}{[t]} h' = \frac{42}{12} \cdot 8,5 = 30 \text{ см};$$



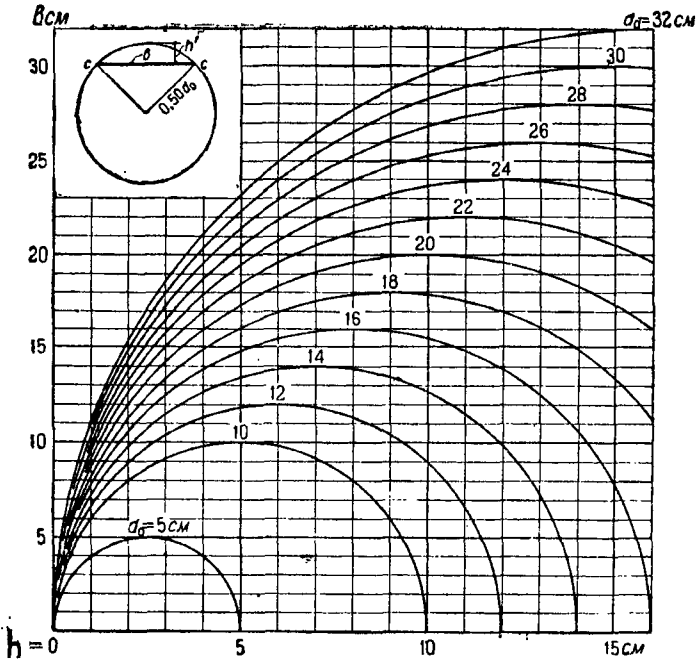


Фиг. 5. График зависимости между площадью сегмента, диаметром круга  $d_0$  и стрелкой сегмента  $h'$ ;

$$\omega = \frac{d_0^2}{8} \left( \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \varphi - \sin \varphi \right),$$

где  $\varphi$  определяется по формуле:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{b}{d_0} = 2 \sqrt{h' (d_0 - h')}$$



Фиг. 6. График зависимости между площадью сегмента  $w$ , хордой сегмента  $b$  и диаметром круга  $d_0$ ;  $b = 2 \sqrt{h'(d_0 - h')}$

принимая:

$$l_1 = 40 \text{ см.}$$

**Пример 2.** Требуется рассчитать врубку при круглых элементах.

Дано:  $N_- = 6000 \text{ кг}$ ;  $k_n = 1$ ;  $d_0 = 20 \text{ см}$ ;

$[n_c]_{\alpha} = 40 = 42 \text{ кг.см}^2$ .

Из ф-лы (7):

$$\omega = \frac{N_- \cos \beta}{k_n [n_c]_{\beta}} = \frac{6000 \cdot 0,765}{1 \cdot 42} = 110 \text{ см}^2.$$

По графику фиг. 5 для  $\omega = 110 \text{ см}^2$  и  $d_0 = 20 \text{ см}$  имеем:

$$h' = 7,7 \text{ см} < 0,40 d_0.$$

По ф-ле (8):

$$l_1 = \frac{\omega [n_c]_{\beta}}{b [i]} = \frac{110 \cdot 42}{19,5 \cdot 1,2} = 20 \text{ см,}$$

где  $b = 19,5 \text{ см}$  (по графику фиг. 6).

Принимаем  $l_1 = 30 \text{ см} \approx 4h'$ .

### 2) Лобовые врубки с двойным зубом

В том случае, когда расчетное усилие не может быть воспринято одиночным зубом, можно запроектировать второй зуб в виде дубовой или сосновой вставной шпонки (фиг. 7).

Врубка с вставной шпонкой дает достаточно плотное сопряжение, чего нельзя сказать про лобовую врубку с двойным зубом, сделанным непосредственно у подкоса, применяющуюся в прежних деревянных конструкциях.

Зуб самого элемента делается ортогональным к оси подкоса, а вставная шпонка прямоугольной с обычным соотношением  $l_{ш} = 4h_{ш}$ . Глубина врезов  $h'$  и  $h''$  должна быть не более  $0,40h$ , как для лобовой врубки с одиночным зубом; желательно, чтобы  $h''$  было больше  $h'$  (от  $1,0h'$  до  $1,5h'$ ).

При проектировании врубки задаются обычно соотношением  $h'' \approx 1,5h'$  или передают на каждый зуб половину расчетного усилия подкоса. При этом глубина врезы вставного зуба  $h''$  получается больше  $h'$ , так как допускаемое напряжение смятия в гнезде вставной шпонки, определяемое углом  $\alpha_2 > \alpha$ , будет меньше, чем в гнезде зуба подкоса.

При расчете на скалывание следует понижать допускаемое напряжение на 20% (как для многоугольного сопряжения), ибо совместная параллельная работа обоих зубьев не может считаться вполне обеспеченной.

Расчет врубки с двойным зубом также производится по приведенным выше ф-лам (1) и (2).

Все входящие в расчетные формулы величины могут быть получены из чертежа и силового многоугольника (фиг. 7) или аналитически.

Для первого зуба:

$$h' = \frac{(N_-)_1 \cos \beta}{bk_n [n_c]_{\beta}}; \quad (3a)$$

$$l'_1 = \frac{(N_-)_1 \cos \beta}{bk_n [i]} = \frac{[n_c]_{\beta}}{[i]} h', \quad (4a)$$

где  $(N_-)_1$  — усилие, приходящееся на первый зуб. Ур-ния (3a) и (4a) могут быть решены

по графику фиг. 3, в которых за параметр следует принять  $\frac{(N_-)_1}{bk_n}$ .

Для второго зуба:

$$N''_c = (N_-)_2 \cos 14^\circ$$

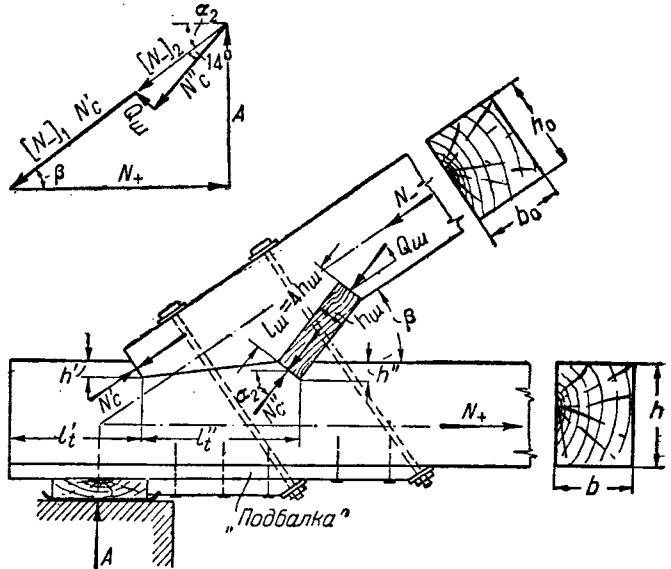
(см. силовой многоугольник, фиг. 7), где  $14^\circ$  соответствует наклону шпонки относительно оси подкоса при соотношении  $l_{ш} = 4h_{ш}$ .

$$F''_c = \frac{h''}{\cos \alpha_2} \cdot b = \frac{h''}{\cos (\beta + 14^\circ)} \cdot b;$$

$$[n_c]_{\alpha_2} = [n_c]_{\beta + 14^\circ}.$$

Ур-ние (1) примет вид:

$$\frac{h''}{\cos (\beta + 14^\circ)} \cdot bk_n [n_c]_{\beta + 14^\circ} \geq (N_-)_2 \cos 14^\circ,$$



Фиг. 7. Лобовая врубка с вставной шпонкой

откуда

$$h'' = \frac{(N_-)_2 \cos 14^\circ \cos (\beta + 14^\circ)}{b \cdot k_n [n_c]_{\beta + 14^\circ}} \quad (3б)$$

и соответственно

$$l''_1 = \frac{[n_c]_{\beta + 14^\circ}}{[i]} \cdot h''. \quad (4б)$$

Кроме расчета врубки на смятие и скалывание необходима проверка болта, воспринимающего распор шпонки  $Q_{ш}$ . Из силового многоугольника (фиг. 7) усилие на болт:

$$N_b = Q_{ш} = (N_-)_2 \cdot \sin 14^\circ. \quad (9)$$

**Пример 3.** При выполнении лобовой врубки с одиночным зубом (пример 1) оказалось необходимым увеличить размеры сечения. Требуется спроектировать эту врубку с двойным зубом.

Дано:  $N_- = 6000 \text{ кг}$ ;  $k_n = 0,65$ ;  $\beta = 40^\circ$ ;  $b = 15 \text{ см}$ ;  $h = 18 \text{ см}$ .

Принимаем:

$$(N_-)_1 = (N_-)_2 = \frac{N_-}{2} = 3000 \text{ кг.}$$

Для первого зуба параметр  $p$  для расчета по графику фиг. 3 равен:

$$p = \frac{(N_-)}{bk_n} = \frac{3000}{15 \cdot 0,65} = 310.$$

По параметру  $p = 310$  и углу  $\beta = 40^\circ$  находим:

$$h' = 5,6 \text{ см};$$

далее по ф-ле (4а):

$$l'_i = \frac{[n_c]_{\alpha=\beta}}{[t]} h' = \frac{42}{12} \cdot 5,6 = 30 \text{ см} < 7h'.$$

Для второго зуба:

по ф-ле (3б):

$$h'' = \frac{3000 \cdot 0,97 \cdot 0,588}{15 \cdot 0,65 \cdot 33} = 5,33 \text{ см};$$

по ф-ле (4б):

$$l'_i = \frac{33}{12} \cdot 5,33 = 14,7 \text{ см}.$$

Принимаем  $h'' = h' = 5,6 \text{ см}$ . При конструировании соблюдаем, чтобы  $l'_i$  было не менее  $4h''$ .  
Усилие, воспринимаемое болтом [по ф-ле (9)]:

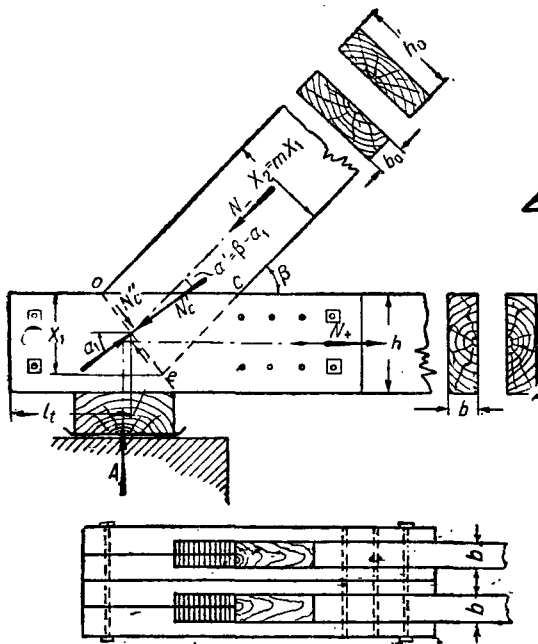
$$N_6 = Q_{ш} = 3000 \cdot 0,242 = 726 \text{ кг}.$$

Принимаем болт  $\varnothing 12 \text{ мм}$ .

### 3) Щечковые врубки

#### а) Общие замечания

Щечковая врубка (фиг. 8 и 9) представляет собою сопряжение дощатых элементов, в которых выбраны (в плоскости досок) треугольные гнез-



Фиг. 8. Щечковая врубка с произвольным направлением плоскости смятия

да с опорными площадками. По этому признаку врубку часто называют «треугольной щечковой». Эта врубка применяется главным образом для опорных узлов дощатых ферм с малым углом наклона верхнего пояса ( $\beta \leq 20^\circ$ ).

На фиг. 8 изображена треугольная щечковая врубка с произвольным направлением плос-

кости смятия  $\overline{ae}$ . Исходя из предпосылок, изложенных при рассмотрении лобовой врубки, нужно считать, что усилие  $N_c''$  уравнивается трением в плоскости  $\overline{ae}$ , и только в тех случаях, когда  $N_c''$  более силы трения, т. е. когда угол  $\alpha_1$  больше угла трения, вступает в работу плоскость  $\overline{ec}$ .

По ТУ и Н 1931 г. при расчете врубок силы трения не учитывались, вследствие этого конструктивно правильной считалась биссектрисная врубка, расчет которой производился по допускаемому напряжению  $[n_c]_{\alpha_1 = \frac{\beta}{2}} > [n_c]_{\alpha = \beta}$ .

В настоящее время испытания показали, что силы трения заметно ухудшают сопротивляемость врубок смятию; поэтому нормальной следует признать не биссектрисную врубку, а ортогональную к подкосу<sup>1</sup> (фиг. 9), в которой усилие в подкосе  $N_-$  целиком воспринимается плоскостью смятия, нормальной подкосу.

Несколько пониженное напряжение на смятие оправдывается до известной степени неравномерным распределением напряжений смятия по плоскости  $\overline{ae}$ , однако последние испытания указывают на возможность повышения  $[n_c]$  без ущерба запасу прочности врубок. При расчете щечковых врубок допускаются напряжения (для сосны): на смятие  $[n_c]_{\alpha=0} = 80$  и  $[n_c]_{\alpha=90} = 20 \text{ кг/см}^2$  и на скалывание  $[t] = 8 \text{ кг/см}^2$ .

Значительно меньшее, чем в лобовых врубках, допускаемое напряжение на скалывание обусловлено опасностью отдиранья волокон.

Треугольная щечковая врубка применяется при углах  $\beta =$  от  $18^\circ$  до  $35^\circ$ .

При углах  $\beta > 35^\circ$  сопротивляемость смятию падает при одновременном повышении опасности отдиранья волокон.

#### б) Расчет ортогональной щечковой врубки

Общие расчетные ур-ния (1) и (2) остаются в силе и для треугольной щечковой врубки:

$$F_c \cdot k_n [n_c]_\beta \geq N_c = N_-;$$

$$F_t \cdot k_n [t] \geq N_t = N_+ = N_- \cos \beta.$$

Обычно ширина площадки смятия (глубина врубки в каждую доску) назначается одинаковой:

$$b_c = b'_c \cdot n,$$

где  $b_c$  — общая ширина площадок смятия;

$n$  — число площадок смятия;

$b'_c$  — ширина площадки смятия в каждой доске.

При этом на каждую площадку смятия приходится равная часть усилия  $N_c'$ .

Необходимая общая ширина площадок смятия должна быть равна:

$$b_c \geq \frac{N_-}{n k_n [n_c]_\beta} \quad (9)$$

<sup>1</sup> В дальнейшем «ортогональная к подкосу треугольная щечковая врубка» именуется для краткости «ортогональная треугольная врубка».

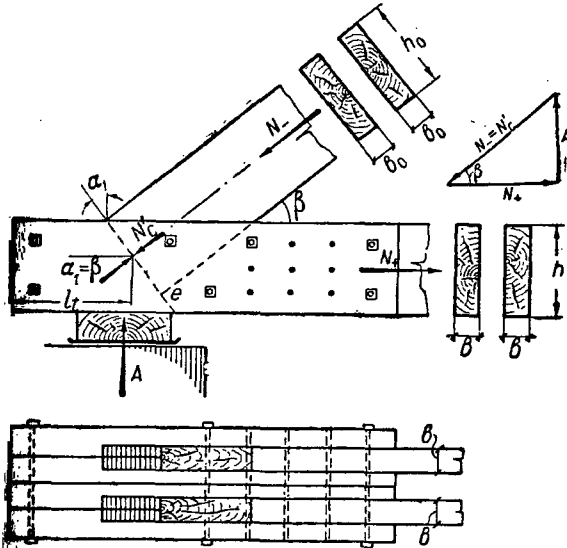
Расчетная длина плоскости скалывания должна быть не более семикратной глубины врезки. Рекомендуется принимать  $l_t \geq 7b'_c$  даже в тех случаях, когда по расчету требуется значительно меньшая длина.

Исходя из этого, при

$$l_t = 7b'_c = 7 \frac{b_c}{2}$$

Площадь скалывания

$$F_t = l_t h_0 \cos \beta \cdot n = 7b_c h_0 \cos \beta,$$



Фиг. 9. Шеновая врубка, ортогональная к подкосу. Расчетные формулы: а) из условия смятия — ф-ла (9); б) из условия скалывания — ф-ла (10)

где в запас прочности за ширину площадку скалывания принята не вся ширина доски, а только ее часть, соответствующая площадке смятия  $ae$ . Сопротивление врубки скалыванию определяется по ф-ле (2):

$$N_t = N - \cos \beta = F_t \cdot [t] \cdot k_n = 7b_c h_0 \cos \beta [t] \cdot k_n,$$

откуда общая ширина площадок:

$$b_c = \frac{N}{7h_0 [t] k_n} \quad (10)$$

Пример 4. Требуется рассчитать треугольную ортогональную врубку опорного узла (фиг. 9).

Дано:  $N = 10\,000$  кг;  $\beta = 30^\circ$ , поправочный коэффициент на влажность  $k_n = 90$ .

Из условия смятия по ф-ле (9):

$$h_0 b_c = \frac{N}{[n_c]_\beta k_n} = \frac{10\,000}{46 \cdot 0,9} = 242 \text{ см}^2.$$

Из условия скалывания по ф-ле (10) при  $l_t = 7b'_c$  (семикратная глубина врезки):

$$h_0 b_c = \frac{N}{7 [t] k_n} = \frac{10\,000}{7 \cdot 8 \cdot 0,9} = 199 \text{ см}^2.$$

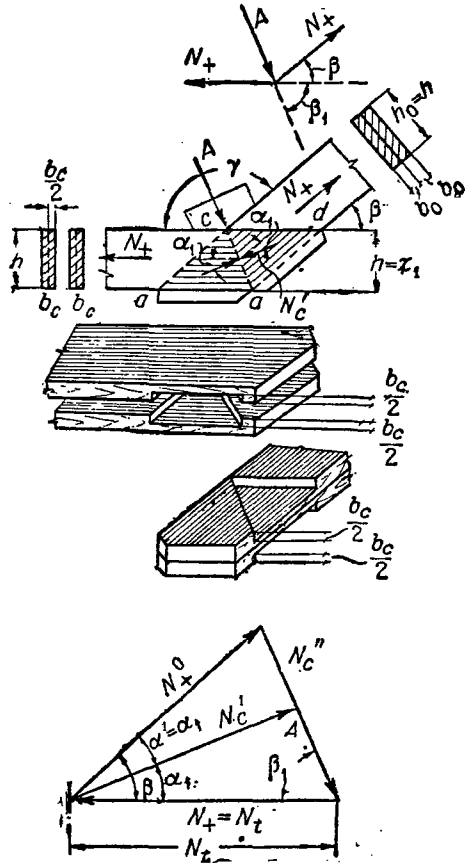
Принимаем:  $h_0 = 20$  см,  $b_c = 12$  см, или  $b'_c = 6$  см, тогда

$$h_0 b_c = 20 \cdot 12 = 240 \text{ см}^2,$$

что примерно равно необходимой площади  $242 \text{ см}^2$ , определенной из условия смятия.

в) Треугольная врубка для сопряжения растянутых элементов (фиг. 10)

Эта врубка часто применяется для узлов кольцевой замкнутой конструкции, причем обычно  $h = h_0$ , а плоскость смятия  $ce$  направлена



Треугольная врубка для сопряжения растянутых элементов

Фиг. 10. Расчетные формулы: а) из условия смятия — ф-ла (11); б) из условия скалывания — ф-ла (12)

по биссектрисе угла  $\gamma$ . Если узловая нагрузка  $A$  (фиг. 10) передается на узел через элементы, примыкающие к обоим растянутым стержням, то усилие  $N'_c$ , перпендикулярное к  $ce$ , воспринимается непосредственно плоскостью смятия  $ce$  без участия сил трения, а плоскости  $ac$  и  $ca'$  усилий не воспринимают, что должно быть учтено при конструировании врубки узла. Эта врубка рассчитывается как обычная биссектрисная.

Расчетные уравнения имеют вид:

$$F_c \cdot [n_c]_a \cdot k_n \geq N'_c;$$

$$F_t [t] k_n \geq N_t.$$

При  $h = h_0$  и  $\alpha_1 = \alpha' = \alpha = \frac{\beta}{2}$  имеем:

$$F_c = h \cos \alpha b_c = h \cos \frac{\beta}{2} b_c;$$

$$N'_c = N_t \cos \alpha = N_t \cos \frac{\beta}{2};$$

$$N_t = N_+.$$

Из условия смятия:

$$b_c \geq \frac{N_+}{h [n_c]_{\beta/2} k_n}. \quad (11)$$

При  $l_t = 7b_c' = 7 \cdot \frac{b_c}{n}$  имеем:

$$F_t = l_t h \cdot n = 7 \frac{b_c}{n} h \cdot n = 7b_c h,$$

где  $l_t h$  — площадь скалывания, соответствующая каждой площадке смятия одной доски;  
 $n$  — число плоскостей скалывания, равное числу площадок смятия.

Ур-ние (2) принимает вид:

$$7b_c h [t] k_n \geq N_t = N_+,$$

отсюда из условия скалывания:

$$b_c \geq \frac{N_+}{7h [t] k_n}. \quad (12)$$

Из двух значений общей ширины  $b_c$ , полученных по ф-лам (11) и (12), расчетным является большее.

**Пример 5.** Требуется рассчитать треугольную врубку при растянутых элементах (фиг. 10).

Дано:  $N_+ = 12\ 000$  кг;  $k_n = 1$ ,  $\beta = 45^\circ$ .

Ширина элементов одинакова, т. е.  $h = h_0$ .

Врубка биссектрисная:

$$\alpha_1 = \alpha' = \alpha = \frac{\beta}{2} = 22^\circ 30'.$$

Из условия смятия по ф-ле (11):

$$hb_c \geq \frac{N_+}{[n_c]_{\beta/2} k_n} = \frac{12\ 000}{56 \cdot 1} = 224 \text{ см}^2.$$

Из условия скалывания по ф-ле (12):

$$hb_c \geq \frac{N_+}{7 [t] k_n} = \frac{12\ 000}{7 \cdot 8 \cdot 1} = 224 \text{ см}^2.$$

Принимаем:  $h = 22$  см и  $b_c = 10$  см, или соответственно для элемента из двух досок  $h = 22$  см и  $b_c = 5$  см.

В зависимости от конструктивных особенностей сооружения врубка должна быть стянута оттяжным болтом или же скреплена двумя-тремя гвоздями.

#### 4) Трехплоскостные врубки

##### а) Общие замечания

Трехплоскостные врубки также относятся к «щелевым врубкам», но отличаются от треугольных щелевых наличием специальной опорной подушки, уравнивающей двумя плоскостями составляющие усилия в подкосе и поясе (или в двух других примыкающих элементах) и надежно фиксирующей положение опорной реакции фермы. Кроме наличия опорной подушки для трехплоскостной врубки характерны:

а) отсутствие смятия поперек волокон;

б) значительно меньшее отдиранье волокон скалываемых поверхностей.

Недостатком этой врубки является необходимость особенно тщательного изготовления ее.

Трехплоскостная врубка с произвольно направленными плоскостями смятия в практике употребляется сравнительно редко и приведена как пример решения задачи в общем виде. Обычно применяются трехбиссектрисные врубки, у которых все три плоскости смятия направлены по биссектрисе, и двухбиссектрисные врубки (фиг. 22), у которых направлены по биссектрисе только две плоскости смятия.

#### б) Расчет трехплоскостных врубок

При расчете трехплоскостных врубок делает ряд допущений.

Прежде всего предполагается, что по всем трем плоскостям смятия осуществляется одновременное соприкосновение всех шести поверхностей элементов узла.

Далее считается, что по каждой из трех плоскостей смятия напряжения распределяются равномерно и что следовательно равнодействующие напряжений смятия приложены в серединах каждого из участков смятия. Направление этих равнодействующих принимается нормальным к площадкам смятия.

Перечисленные допущения, весьма облегчающие расчет трехплоскостных врубок, являются общепринятыми. Однако необходимо отметить, что эти допущения не вполне обоснованы и несовместимы с принципом центрирования усилий в элементах фермы.

При произвольном направлении плоскостей смятия расчетные уравнения имеют вид (фиг. 11):

$$\left. \begin{aligned} F_c' [n_c]' \cdot k_n &\geq N_c'; \\ F_c'' [n_c]'' \cdot k_n &\geq N_c''; \\ F_c''' [n_c]''' \cdot k_n &\geq N_c'''; \\ F_t [t] \cdot k_n &\geq N_t, \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где  $F_c'$ ,  $F_c''$ ,  $F_c'''$  — площади смятия;

$F_t$  — площадь скалывания;

$[n_c]'$ ,  $[n_c]''$ ,  $[n_c]'''$  — основные допускаемые напряжения на смятие соответствующих площадок;

$[t]$  — основное допускаемое напряжение на скалывание;

$k_n$  — поправочный коэффициент к основному допускаемому напряжению (на влажность, класс сооружения и т. п.).

Из силового многоугольника (фиг. 11) имеем:

$$\left. \begin{aligned} N_c' &= \frac{N_-}{\sin \gamma_0} \sin \alpha_2; \\ N_c'' &= \frac{N_-}{\sin \gamma_0} \sin \alpha_1; \\ N_c''' &= \frac{A}{\sin \gamma_1} \sin \alpha''; \\ N_t &= N_c' \cos \alpha_1 + N_c''' \cos \alpha_3 = N_+; \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

кроме того:

$$\left. \begin{aligned} [n_c]' &= [n_c]_{\alpha_1} \text{ или } \alpha'; \\ [n_c]'' &= [n_c]_{\alpha_2} \text{ или } \alpha''; \\ [n_c]''' &= [n_c]_{\alpha_3} \text{ или } \alpha'''. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

(допускаемое напряжение определяется большим из двух углов, указанных в индексе).

Определив по ф-лам (14) и (15) расчетные усилия и допускаемые напряжения, определяют потребные площади смятия и скалывания по ф-ле (13).

в) Трехбиссектрисные врубки с тремя равнопрочными плоскостями смятия

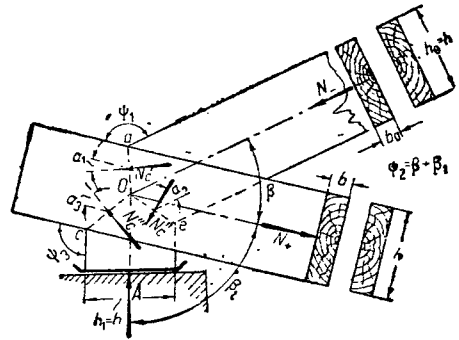
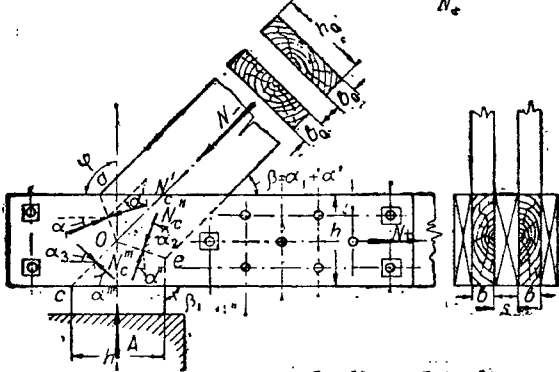
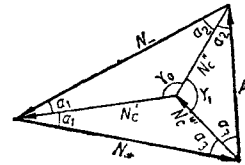
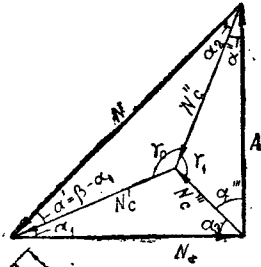
Для трехбиссектрисной врубки с произвольными углами  $\psi_1$  и  $\psi_2$  расчетные ур-ния (13), (14) и (15) принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} F_c' [n_c] \alpha_1 \cdot k_n &\geq N_c'; \\ F_c'' [n_c] \alpha_2 \cdot k_n &\geq N_c''; \\ F_c''' [n_c] \alpha_3 \cdot k_n &\geq N_c'''; \\ F_t [t] \cdot k_n &\geq N_t. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

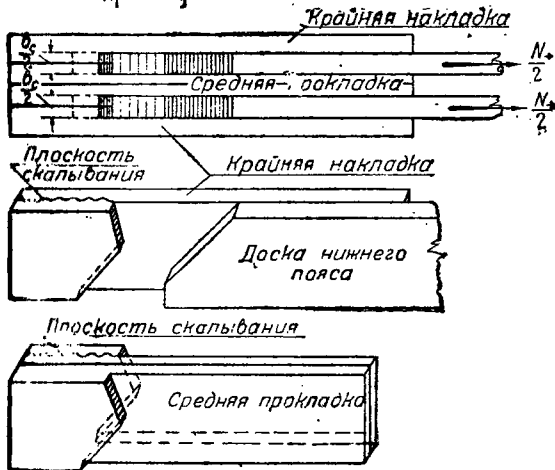
Из силового многоугольника (фиг. 12) и соотношения между углами  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  следует:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha' = \frac{\beta}{2}, & \psi_1 &= 180 - \beta; \\ \alpha_2 &= \alpha'' = 90 - \left(\frac{\beta}{2} + \frac{\beta_1}{2}\right); & \psi_2 &= \beta + \beta_1; \\ \alpha_3 &= \alpha''' = \frac{\beta_1}{2}; & \psi_3 &= 180 - \beta_1; \\ \gamma_0 &= \frac{\psi_1 + \psi_2}{2} = 180 - \frac{\psi_3}{2} = 90 + \frac{\beta_1}{2}; \\ \gamma_1 &= \frac{\psi_2 + \psi_3}{2} = 180 - \frac{\psi_1}{2} = 90 + \frac{\beta}{2}; \\ A &= \frac{N_- \cdot \sin \psi_1}{\sin \psi_3} = N_- \frac{\sin(180 - \beta)}{\sin(180 - \beta_1)} = N_- \frac{\sin \beta}{\sin \beta_1}; \\ N_+ &= \frac{N \sin \psi_2}{\sin \psi_3} = N_- \frac{\sin(\beta + \beta_1)}{\sin(180 - \beta_1)} = N_- \frac{\sin(\beta + \beta_1)}{\sin \beta_1}. \end{aligned} \right\} (17)$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 90 - \beta - \alpha_2 \\ \gamma_0 &= 180 - \alpha_1 - \alpha_2 - \beta \\ \gamma_1 &= \beta - \alpha_3 - \alpha_2 \end{aligned}$$



Фиг. 12. Трехбисцентрисная шеновая врубка при элементах равной ширины



Фиг. 11. Трехплоскостная шеновая врубка с произвольными углами

Подставляя эти значения в ур-ния (14), получим:

$$\left. \begin{aligned} N_c' &= N_- \cdot \frac{\cos \frac{\psi_2}{2}}{\sin \frac{\psi_3}{2}} = N_- \frac{\cos \left(\frac{\beta}{2} + \frac{\beta_1}{2}\right)}{\cos \frac{\beta_1}{2}} = N_- \cdot k'; \\ N_c'' &= N_- \cdot \frac{\cos \frac{\psi_1}{2}}{\sin \frac{\psi_3}{2}} = N_- \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{\cos \frac{\beta_1}{2}} = N_- \cdot k''; \\ N_c''' &= N_- \cdot \frac{\sin \psi_1 \cos \frac{\psi_2}{2}}{\sin \psi_3 \sin \frac{\psi_1}{2}} = N_- \frac{\sin \beta \cdot \cos \left(\frac{\beta}{2} + \frac{\beta_1}{2}\right)}{\sin \beta_1 \cos \frac{\beta}{2}} = N_- \cdot k'''; \\ N_t &= N_+ = N_- \cdot \frac{\sin \psi_2}{\sin \psi_3} = N_- \frac{\sin(\beta + \beta_1)}{\sin \beta_1} = N_- \cdot k_t. \end{aligned} \right\} (18)$$

Далее:

$$\left. \begin{aligned} [n_c]' &= [n_c]_{\alpha_1}; \\ [n_c]'' &= [n_c]_{\alpha_2}; \\ [n_c]''' &= [n_c]_{\alpha_3}. \end{aligned} \right\} (19)$$

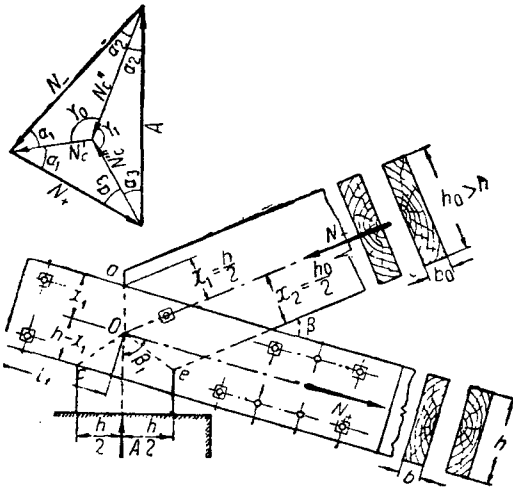
Наконец из выражения (16) имеем:

$$\left. \begin{aligned} b_c' &= \frac{2N_c' \cos \alpha_1}{h \cdot [n_c]_{\alpha_1} k_n}; \\ b_c'' &= \frac{2N_c'' \cos \alpha_2}{h \cdot [n_c]_{\alpha_2} k_n}; \\ b_c''' &= \frac{2N_c''' \cos \alpha_3}{h \cdot [n_c]_{\alpha_3} k_n}; \\ l_t &= \frac{[n_c]_{\alpha} \cdot b_c}{[t] \cdot m} \approx 7 \frac{b_c}{m}, \end{aligned} \right\} (20)$$

где  $m$  — число плоскостей скальвания;

$b_c$  — необходимая суммарная ширина площадок смятия;  
 $[n_c]_a$  — основное допускаемое напряжение на смятие (при определении  $l_c$  для  $[n_c]_a$  нужно брать большую из величин  $[n_c]_{a1}$  и  $[n_c]_{a2}$ ).

Расчет врубок производится по ф-лам (16), (18) и (19) или же с помощью графиков фиг. 14 и 15 (см. примеры).

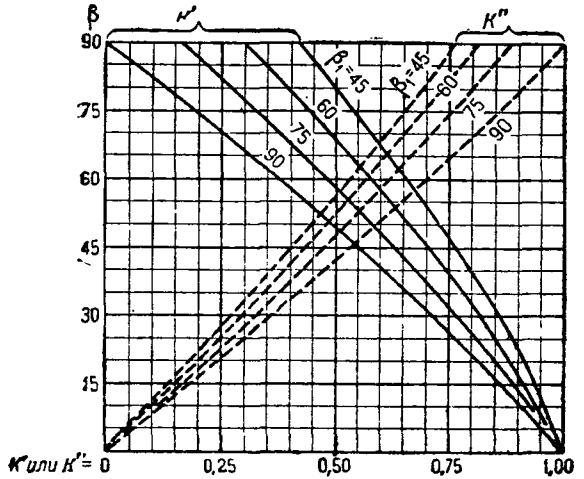


Фиг. 13. Трехбиссектрисная шеновая врубка при  $h_0 > h$

На фиг. 12 представлена врубка при элементах равной ширины, т. е. при  $h_1 = h_0 = h$ . Такое соотношение наиболее распространено

ную врубку по фиг. 16 можно рекомендовать взамен треугольной шеновой (фиг. 9), которая нерациональна из-за смятия под большим углом (малое допускаемое напряжение на смятие и большая опасность отдирания волокон).

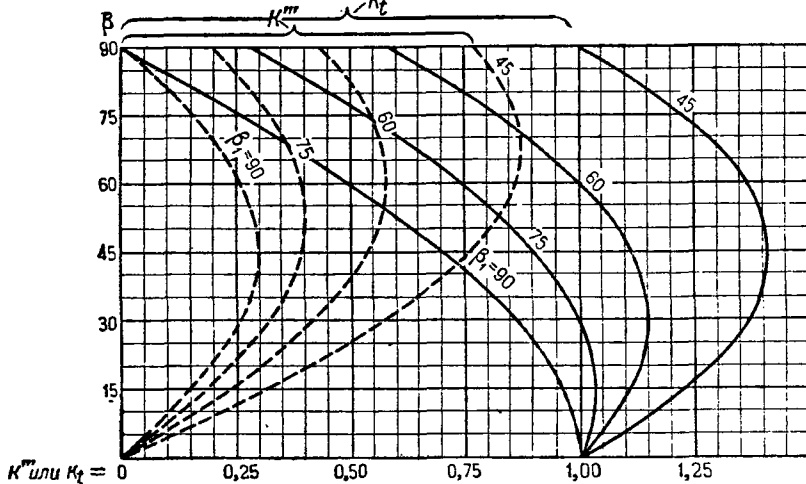
При одинаковой ширине сминаемых площадок допускаемое напряжение обычно полностью используется только по одной из них (в частном



Фиг. 14. График для определения усилий смятия  $N_c'$  и  $N_c''$  трехбиссектрисной врубки [обозначения см. фиг. 12 и ф-лу (18)]

случае при  $\beta = 45^\circ$  полностью используется напряжение по площадкам  $oa$  и  $oe$ .

В обычных трехбиссектрисных врубках (фиг.



Фиг. 15. График для определения усилий смятия  $N_c'''$  и скальвающего  $N_4$  для трехбиссектрисной врубки [обозначения см. фиг. 12 и ф-лу (18)]

в решетчатых конструкциях, так как однообразные сортамента значительно упрощает конструирование ферм и производство работ.

При  $h = h_1$  и  $h_0 > h$  (фиг. 13) схема врубки и силовой многоугольник не изменяются и уравнения (18) и (19) остаются в силе. Для опорного узла обычно назначают  $h = h_0 = h_1$  при  $\psi_3 = 90^\circ$  (фиг. 16). При угле  $\beta > 35^\circ$  трехбиссектрис-

12, 13 и 16) напряжения смятия по каждой площадке зависят от величины сминающего усилия ( $N_c'$ ,  $N_c''$  или  $N_c'''$ ) и ширины площадки  $b_c'$ ,  $b_c''$  или  $b_c'''$ . По допускаемому напряжению на смятие для каждой площадки и усилиям  $N_c'$ ,  $N_c''$ ,  $N_c'''$  могут быть определены необ-



ходимые размеры площадок  $b'_c$ ,  $b''_c$  и  $b'''_c$  [см. ф-лу (20)]. Очевидно в общем случае  $b'_c \neq b''_c \neq b'''_c$

недонапряжение двух других. Например для опорного узла фиг. 16 при  $\beta < 45^\circ$  ширина всех площадок смятия определяется по ф-ле (20) шириной  $b'_c$ , наиболее напряженной из них, остальные же площадки будут недо-напряжены.

При  $\beta = 45^\circ$  одинаково напряженными окажутся площадки  $b'_c$  и  $b''_c$ , а площадка  $b'''_c$  окажется недонапряженной.

Во всех рассмотренных случаях точка  $O$  пересечения плоскостей смятия совпадает с геометрическим центром узла. Однако можно определить такое положение центра плоскостей смятия  $O_1$ , при котором в каждой из них будут возникать напряжения, равные допусковым (фиг. 17).

Решая задачу в общем виде (фиг. 17) по ф-лам (16), будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} F'_c [n_c]_{a_1} k_n &= \overline{oa} \cdot b_c [n_c]_{a_1} k_n = N'_c; \\ F''_c [n_c]_{a_2} k_n &= \overline{oe} \cdot b_c [n_c]_{a_2} k_n = N''_c; \\ F'''_c [n_c]_{a_3} k_n &= \overline{oc} \cdot b_c [n_c]_{a_3} k_n = N'''_c, \end{aligned} \right\} (16a)$$

где  $b_c$  — суммарная ширина площадок смятия.

Решая эти уравнения относительно  $b_c$  и заменяя  $N'_c$ ,  $N''_c$  и  $N'''_c$  их значением по ф-ле (18), получим:

$$\frac{N_- \cdot k'}{\overline{oa} [n_c]_{a_1}} = \frac{N_- \cdot k''}{\overline{oe} [n_c]_{a_2}} = \frac{N_- \cdot k'''}{\overline{oc} [n_c]_{a_3}},$$

но

$$\overline{oa} = \frac{x_1}{\cos \alpha_1}; \quad \overline{oe} = \frac{x_2}{\cos \alpha_2} \quad \text{и} \quad \overline{oc} = \frac{h - x_1}{\cos \alpha_3}.$$

Таким образом:

$$\frac{x_1 [n_c]_{a_1}}{k' \cos \alpha_1} = \frac{x_2 [n_c]_{a_2}}{k'' \cos \alpha_2} = \frac{(h - x_1) [n_c]_{a_3}}{k''' \cos \alpha_3}.$$

Отсюда:

$$x_1 = \frac{h}{\frac{[n_c]_{a_3} \cos \alpha_3}{[n_c]_{a_1} \cos \alpha_1} \cdot \frac{k'''}{k'} + 1}; \quad (21)$$

$$x_2 = x_1 \cdot \frac{[n_c]_{a_1} \cos \alpha_2}{[n_c]_{a_2} \cos \alpha_1} \cdot \frac{k''}{k'}.$$

Определение  $x_1$  и  $x_2$  может быть сделано по графикам фиг. 18 и 19.

Из фиг. 17 следует, что равнопрочная трехбиссектрисная врубка может быть осуществлена при  $h_0 \geq x_1 + x_2$ . На фиг. 20 представлена врубка опорного узла при  $h_0 = x_1 + x_2$ .

Ширина врезки определяется из условия смятия любой из трех плоскостей по ф-лам (16а). т. е.

$$F'_c \cdot [n_c]_{a_3} k_n = \overline{oa} \cdot b_c [n_c]_{a_1} k_n = N'_c,$$

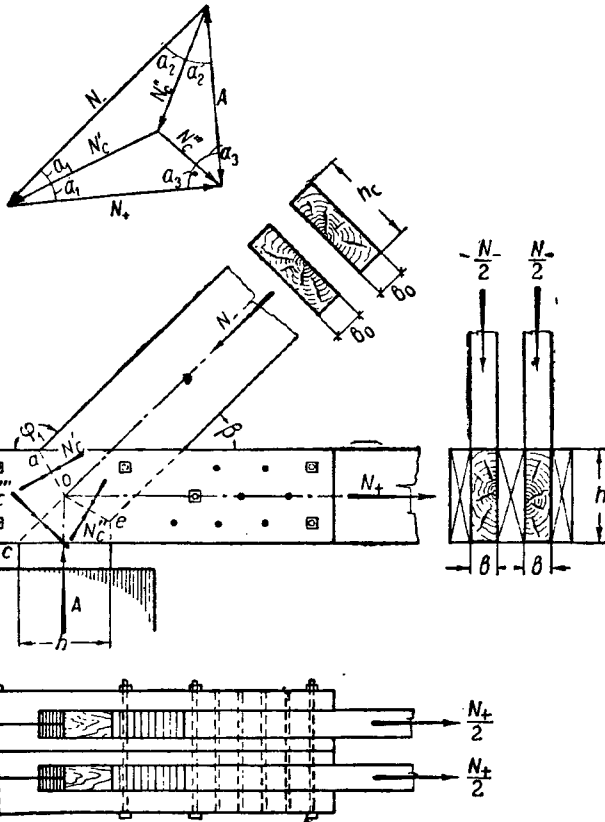
отсюда

$$b_c = \frac{N'_c}{\overline{oa} [n_c]_{a_1} k_n} = \frac{N'_c \cos \alpha_1}{x_1 [n_c]_{a_1} k_n} = \frac{N_- \cdot k' \cos \alpha_1}{x_1 [n_c]_{a_1} k_n}. \quad (22)$$

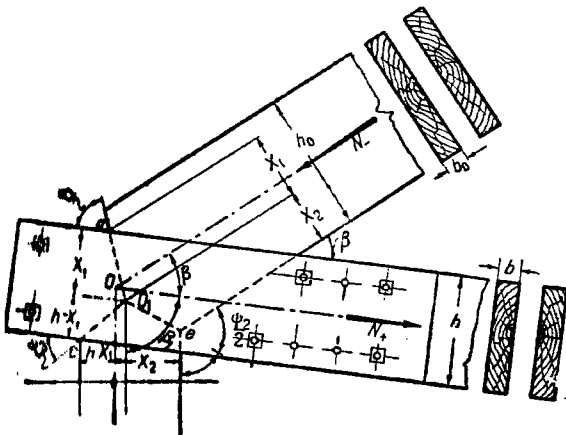
Величина  $N'_c = N_- \cdot k'$  определяется по ф-ле (18).

г) Трехплоскостные врубки с металлическими тяжами

Трёхплоскостные врубки весьма рациональны для промежуточных узлов ферм с металлическими растянутыми элементами (железо-деревянные фермы). На фиг. 21 и 22 представлены



Фиг. 16. Характерное решение опорного узла дощатых решетчатых конструкций на трехбиссектрисной врубке при  $\beta =$  от  $40^\circ$  до  $50^\circ$

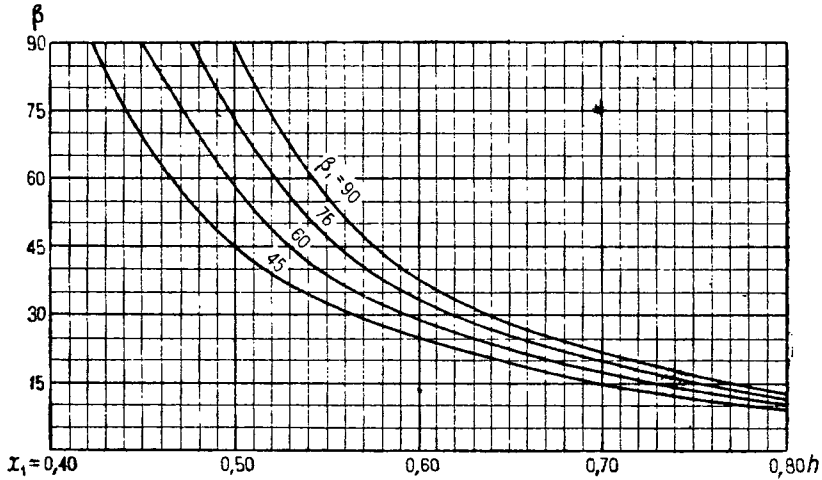


Фиг. 17. Трехплоскостная врубка с равнопрочными плоскостями смятия

$\neq b'_c$ ; однако из конструктивных соображений ширина  $b_c$  для всех трех площадок принимается равной. Поэтому, производя расчет по наиболее напряженной площадке, получают

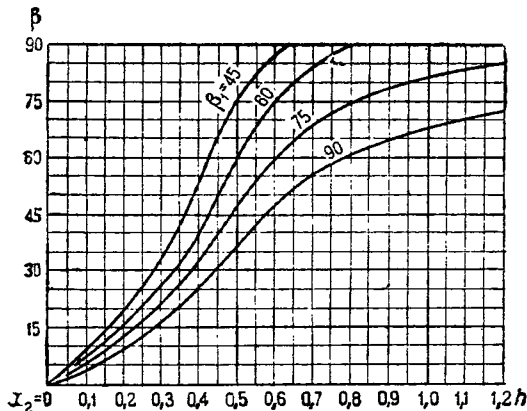
две схемы таких узлов. На фиг. 21 показан промежуточный узел в виде трехбиссектрисной врубки, возможной лишь при отсутствии внешней нагрузки, передающейся через поясные доски.

Можно рекомендовать графическое решение задачи путем построения силового многоугольника и самой врубки, откуда по масштабу могут быть определены все необходимые расчетные величины для ур-ний (16).



Фиг. 18. График для определения  $x_1$  трехбиссектрисной врубки с тремя равнопрочными плоскостями смятия [см. Ф-лу (21)]

Расчет таких врубок на смятие производится так же, как и обычных трехплоскостных врубок, т. е. по Ф-лам (18), (19) и (20).



Фиг. 19. График для определения  $x_2$  трехбиссектрисной врубки с тремя равнопрочными плоскостями смятия [см. Ф-лу (21)]

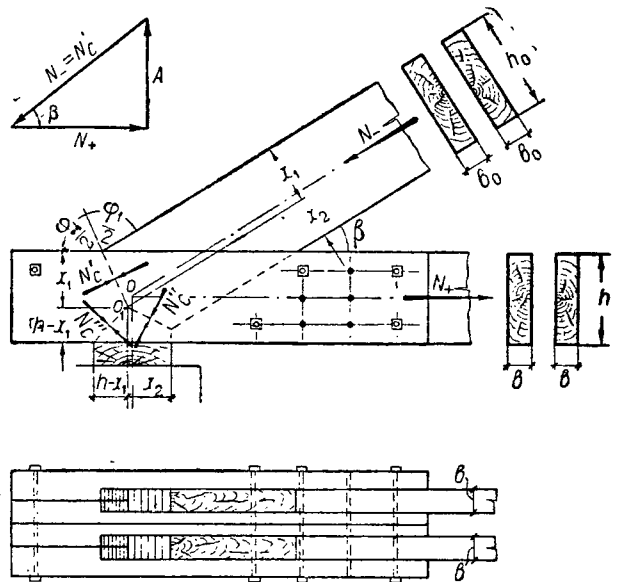
На фиг. 22 представлен узел фермы с внешней нагрузкой на поясе. Усилия  $A$ ,  $N_+$  и  $R$  ( $R$  — равнодействующая усилия в поясе  $N_+$  и внешней нагрузки  $P$ ) уравниваются усилиями смятия.

Нормальной схемой такого узла является двухбиссектрисная. Можно рекомендовать биссектрисность плоскостей  $oa$  и  $ob$ , тогда  $\alpha_1 = \alpha'$  и  $\alpha_3 = \alpha''$ . Пересечение усилий смятия  $N_c'$  и  $N_c''$  определяет направление и величину усилия  $N_c'''$ . При этом  $\alpha_2 \neq \alpha''$ , т. е. биссектрисность третьей плоскости смятия  $oc$  не имеет места.

Аналитический вывод формул для  $N_c'$ ,  $N_c''$  и  $N_c'''$  и значений углов  $\alpha''$ ,  $\alpha_2$  и  $\varphi$  в этом случае довольно громоздок и пользование им неудобно.

д) Примеры расчета трехбиссектрисных врубок

Пример 6. Требуется рассчитать по графику фиг. 14 и 15 трехбиссектрисную врубку опорного узла по фиг. 11.



Фиг. 20. Характерное решение опорного узла дощатых решетчатых конструкций на трехбиссектрисной врубке при  $\beta$  от  $30^\circ$  до  $40^\circ$ . Положение центра плоскостей смятия определяется равнопрочностью трех плоскостей смятия

Дано:

$$h = h_0 = h_1 = 20 \text{ см.}$$

$$\beta = 30^\circ; \beta_1 = 90^\circ; k_n = 0,9; N_- = 10\,000 \text{ кг.}$$

По ф-лам (17):

1.  $\alpha_1 = 15^\circ; \alpha_2 = 30^\circ; \alpha_3 = 45^\circ; \gamma_2 = \beta + \beta_1 = 120^\circ.$

2. По графикам фиг. 14 и 15 [или по ф-ле (18)]:

$N_c' = 0,71 N_- = 7100 \text{ кг}$

$N_c'' = 0,37 N_- = 3700 \text{ »}$

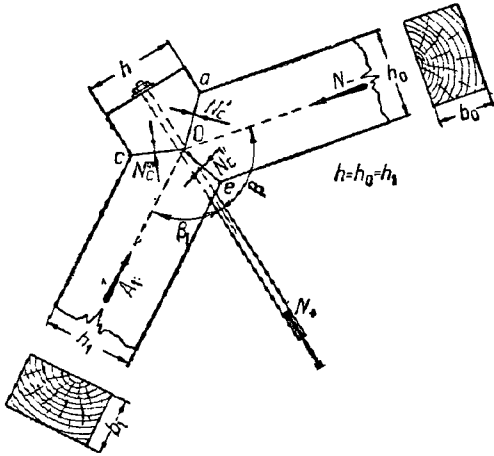
$N_c''' = 0,26 N_- = 2600 \text{ »}$

$N_t = 0,865 N_- = 8650 \text{ »}$

3. По графику (стр. 48) (допускаемые напряжения под углом):

$[n_c]_{\alpha_1} = 65 \text{ кг/см}^2; [n_c]_{\alpha_2} = 45 \text{ кг/см}^2;$

$[n_c]_{\alpha_3} = 32 \text{ кг/см}^2.$



Фиг. 21. Трехплоскостная врубка с металлическим тязем при отсутствии внешней нагрузки на поясе.

По ф-лам (20):

$b_c' = \frac{2 \cdot 7100 \cdot 0,966}{20 \cdot 65 \cdot 0,90} = 11,7 \text{ см};$

$b_c'' = \frac{2 \cdot 3700 \cdot 0,556}{20 \cdot 45 \cdot 0,90} = 7,9 \text{ см};$

$b_c''' = \frac{2 \cdot 2600 \cdot 0,707}{20 \cdot 32 \cdot 0,90} = 6,4 \text{ см}.$

Принимаем большее значение:  $b_c = b_c' \approx 12 \text{ см}$ , что соответствует доскам толщиной 6 см (т. е.  $b_0 = 6 \text{ см}$  и  $b = 6 \text{ см}$ ). Длина скалываемой части врубки по ф-ле (23):

$l_t = \frac{[n_c]_{\alpha_1}}{[t]} \cdot \frac{b_c'}{m} = \frac{65 \cdot 11,7}{12 \cdot 4} = 16 \text{ см},$

что удовлетворяет условию:

$l_t \leq 7 \frac{b_c'}{m},$

где  $m$  — число плоскостей скалывания и соответственно число врезок.

С достаточной для практики точностью размер  $l_t$  можно измерить от точки  $a$ . Для большей безопасности в данном случае рекомендуется принять:

$l_t = 7 \frac{b_c'}{m} = 7 \frac{12}{4} = 21 \text{ см}.$

Пример 7. Требуется рассчитать верхний узел фермы (фиг. 21). Дано:  $N_- = 10000 \text{ кг}; \beta = 80^\circ; \beta_1 = 60^\circ; k_n = 0,90.$

1. По ф-лам (17):

$\alpha_1 = \frac{\beta}{2} = 40^\circ; \alpha_2 = 90 - \left(\frac{\beta}{2} + \frac{\beta_1}{2}\right) = 20^\circ;$

$\alpha_3 = \frac{\beta_1}{2} = 30^\circ.$

2. По графикам фиг. 14 и 15:

$N_c' = k' \cdot N_- = 0,40 \cdot 10000 = 4000 \text{ кг}$

$N_c'' = k'' \cdot N_- = 0,74 \cdot 10000 = 7400 \text{ »}$

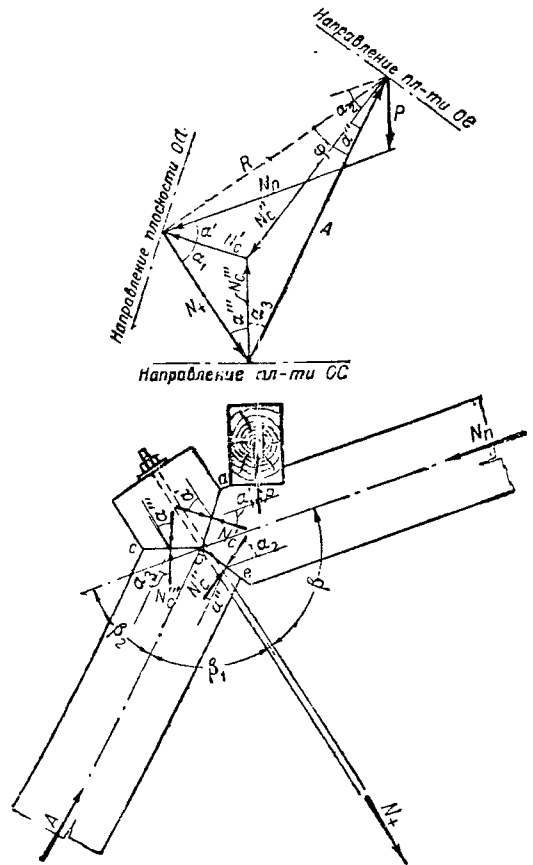
$N_c''' = k''' \cdot N_- = 0,50 \cdot 10000 = 5000 \text{ »}$

$N_t = N_l = k_t \cdot N_- = 0,74 \cdot 10000 = 7400 \text{ »}$

3. По графику на стр. 48:

$[n_c]_{\alpha_1} = 35 \text{ кг/см}^2; [n_c]_{\alpha_2} = 59 \text{ кг/см}^2;$

$[n_c]_{\alpha_3} = 45 \text{ кг/см}^2.$



Фиг. 22. Характерное решение промежуточного узла двухбиссектрисной врубки при наличии внешней нагрузки на поясе при биссектрисных плоскостях ос  $o_1$  и  $o_2$ :

$\alpha_1 = \alpha' = \frac{\beta}{2};$

$\alpha_3 = \alpha'' = \frac{\beta_1}{2};$

$\alpha_2 = \beta_2 - \alpha'';$

угол  $\alpha$  определяется из

$$\text{ctg } \alpha'' = \frac{\sin \left( \beta_1 + \varphi + \frac{\beta}{2} \right)}{\sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \varphi},$$

где  $\varphi$  определяется из

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sin \beta_1}{N_+ - \cos \beta_1}.$$

4. По ф-лы (20) определяем площадь сечения элементов, удовлетворяющих условию смятия врубки:

$$b'h = \frac{2 \cdot 4000 \cdot 0,766}{35 \cdot 0,90} = 194 \text{ см}^2$$

$$b''h = \frac{2 \cdot 7400 \cdot 0,842}{59 \cdot 0,90} = 95 \text{ »}$$

$$b'''h = \frac{2 \cdot 5000 \cdot 0,866}{45 \cdot 0,90} = 214 \text{ »}$$

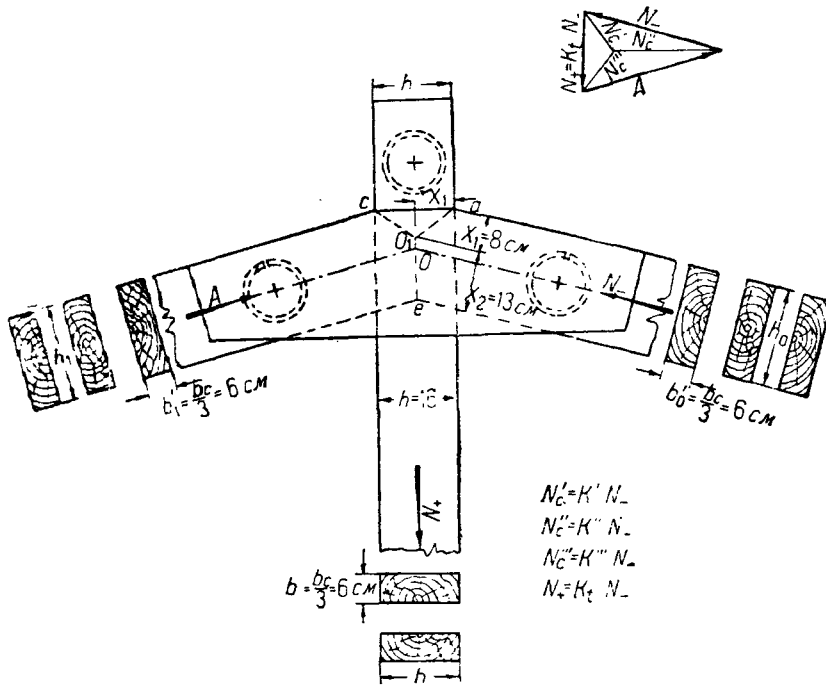
Из ф-лы (21) или по графикам 18 и 19:

$$x_1 = 0,50h;$$

$$x_2 = 0,81h.$$

Из ф-лы (22):

$$b_c = \frac{N_- \cdot k' \cdot \cos \alpha_1}{x_1 [n_c]_{a_1} \cdot k_n} = \frac{4950 \cdot 0,793}{0,50h \cdot 37,5 \cdot 0,72}$$



Фиг. 23. Коньковый узел фермы

Сечение должно быть принято равным или больше 214 см<sup>2</sup>. Принимаем  $b_c = b_0 = b_1 = 12 \text{ см}$ ;

$$h = \frac{214}{12} = 18 \text{ см.}$$

5. Сечение металлического троса:

$$F_{\text{металл}} = \frac{N_+}{n_{\text{к}}} = \frac{7400}{1100} = 6,72 \text{ см}^2.$$

**Пример 8.** Требуется рассчитать коньковый узел фермы (фиг. 23), спроектированный в виде трехбиссектрисной врубки, из условия равнопрочности трех плоскостей смятия (см. общий чертеж равнопрочной врубки фиг. 20).

Дано:  $N_- = 15000 \text{ кг}$ ;  $\beta = 75^\circ$ ;  $\beta_1 = 75^\circ$ ;  $k_n = 0,72$ ;  $h_0 = h_1 = h$ .

По ф-ле(17):

$$\alpha_1 = 37^\circ 30'; \quad \alpha_2 = \left(90 - \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}\right) = 15^\circ;$$

$$\alpha_3 = 37^\circ 30'.$$

По графику фиг. 14 имеем  $k' = 0,33$ , таким образом:

$$N'_+ = k' \cdot N_- = 0,33 \cdot 15000 = 4950 \text{ кг.}$$

По графику на стр. 48:

$$[n_c]_{a_1} = 37,5 \text{ кг/см}^2.$$

откуда

$$b_c h = \frac{4950 \cdot 0,793}{0,50 \cdot 37,5 \cdot 0,72} = 292 \text{ см}^2.$$

Принимаем:

$$h = 16 \text{ см};$$

$$b = 18 \text{ см} = 3 \cdot 6 \text{ см.}$$

где 6 см — толщина каждой доски ( $h \cdot b = 288 \approx 292 \text{ см}^2$ );

$$h_0 = x_1 + x_2 = 0,50h + 0,81h = 1,31h = 21 \text{ см}$$

(см. общий чертеж фиг. 20);

$$h_1 = (h - x_1) + x_2 = 0,50h + 0,81h = 21 \text{ см.}$$

### 5) Ножничные врубки

#### а) Общие замечания

Ножничные врубки применяются в решетчатых сквозных системах с растянутыми стойками и сжатыми подкосами из дерева.

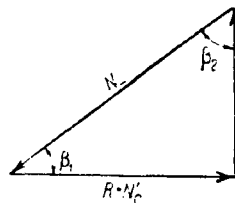
На фиг. 24, 25 и 26 показаны ножничные врубки без наконечника и с наконечником из дуба.

Применение дубовых наконечников позволяет максимально использовать рабочие сминаемые площади, кроме того отделить заготовку более сложных и ответственных элементов наконечников от заготовки.

Ножничные врубки требуют исключительно точной столярной работы. Применение их может быть оправдано только возможностью конструирования всех узлов фермы без металлических рабочих частей, что весьма важно для сооружений, подверженных действию сернистых и кислотных паров.

$\alpha_1$  определяется из силового многоугольника (фиг. 29):

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{1}{\frac{N_-}{N_c''} \sin \beta_2 - \operatorname{ctg} \beta_2}$$



б) Расчет врубок при  $\beta_1 + \beta_2 = 90^\circ$  (фиг. 24, 25 и 26)

Расчетные уравнения имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} F_c' [n \cdot]_{a_1} \cdot K_n &\geq N_c'; \\ F_c'' [n \cdot]_{a_2} \cdot K_n &\geq N_c''; \\ F_t [t] K_n &\geq N_t; \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

$$\left. \begin{aligned} N_c' &= N_- \cdot \cos \beta_1; \\ N_c'' &= N_- \cdot \cos \beta_2; \\ N_t &= N_c'' = A; \\ F_c' &= a_1 e_1 \cdot b_c'; \\ F_c'' &= a_2 e_2 b_c''; \\ F_t &= n h_2 l_t; \\ a_1 &= \beta_1; \quad a_2 = \beta_2. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Ширина площадки смятия и длина скалываемой части стойки определяются по Ф-лам (23) и (24):

$$\left. \begin{aligned} b_c' &= \frac{N_- \cos \beta_1}{h_1 k_n [n \cdot]_{\beta_1}}; \\ b_c'' &= \frac{N_- \cos \beta_2}{h_2 k_n [n \cdot]_{\beta_2}}; \\ l_t &= \frac{N_- \cos \beta_2}{n h_2 k_n [t]}. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

где  $n$  — число плоскостей скалывания (на фиг. 24 имеем  $n = 2$ ).

Для непосредственного определения необходимой ширины площадки смятия составлены графики: при сосновом конце — фиг. 27, а при дубовом накопечнике — фиг. 28.

в) Расчет врубок при  $\beta_1 + \beta_2 = 90^\circ$  при наличии узловой внешней нагрузки

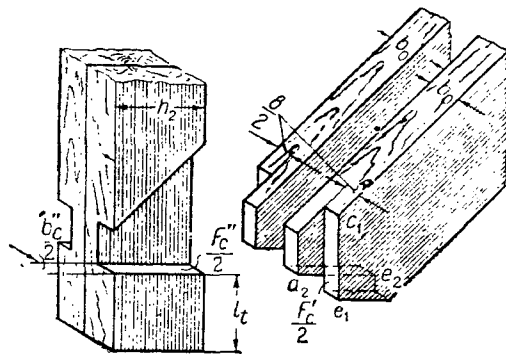
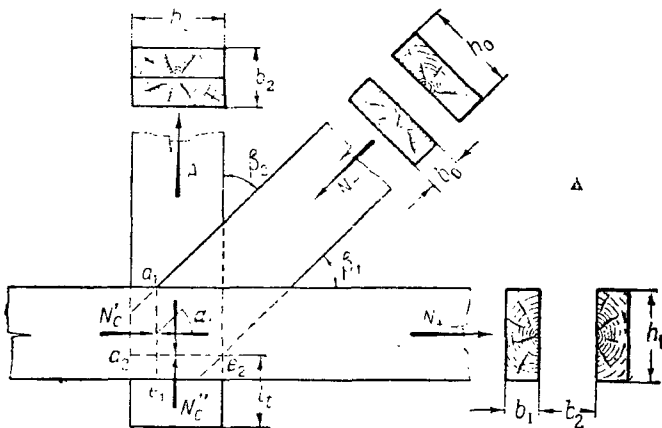
Площадки смятия  $a_1 e_1$  и  $a_2 e_2$  проектируются нормально к равнодействующей  $N_c'$  и  $N_c''$ .

Для расчета таких узлов можно особенно рекомендовать графический способ нахождения всех усилий из многоугольника (фиг. 29).

Для полноты ниже дается аналитическое решение этой же задачи.

При известных  $N_-$ ,  $N_c'' = A$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$  для решения уравнений (23) имеем:

$$\left. \begin{aligned} N_c'' &= A = N_t; \\ N_c' &= N_c'' \cdot \frac{\sin \beta_2}{\sin \alpha_1}; \\ F_c' &= a_1 e_1 \cdot b_c' = \frac{h_0}{\cos \alpha_1} \cdot b_c'; \\ F_c'' &= a_2 e_2 \cdot b_c'' = h_2 b_c''; \\ F_t &= n \cdot h_2 \cdot l_t; \end{aligned} \right\} \quad (26)$$



фиг. 24. Ножничная врубка без накопечника

Величины  $a_1$  и  $N_c'$  определяются по номограмме фиг. 30.

г) Примеры расчета ножничных врубок

Пример 9. Требуется рассчитать ножничную врубку (фиг. 31) при сосновом конце (или сосновом накопечнике).

Дано:  $N_{\perp} = 5400 \text{ кг}$ ;  $h_1 = 18 \text{ см}$ ;  $h_2 = 15 \text{ см}$ ;  
 $h_0 = 15 \text{ см}$ ;  $\beta_1 = 50^\circ$ ;  $\beta_2 = 40^\circ$ ;  $k_n = 1,00$ .  
 Для  $\beta_1 = 50^\circ$  и

$$\frac{N_{\perp}}{k_n \cdot h_1} = \frac{5400}{1,00 \cdot 18} = 300,$$

по графику фиг. 27:

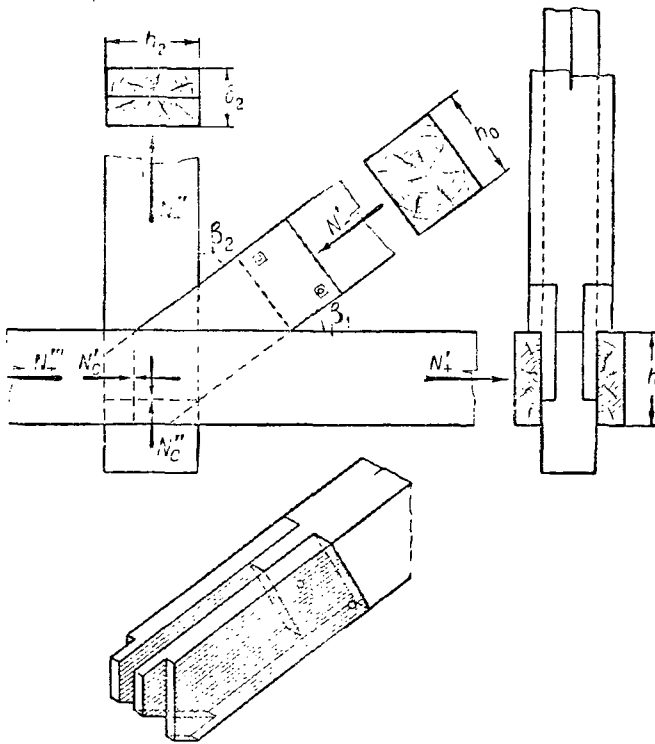
$$b'_c = 6,7 \text{ см.}$$

Для  $\beta_2 = 40^\circ$  и

$$\frac{N_{\perp}}{k_n \cdot h_2} = \frac{5400}{1,00 \cdot 15} = 360,$$

по графику фиг. 27:

$$b'_c = 7,8 \text{ см.}$$



Фиг. 25. Ножничная врубка с наконечником. Узел нижнего пояса фермы

Из производственных соображений целесообразно принять равнобедренную врубку:

$$b'_c = b'_o = 8 \text{ см} > 7,8 \text{ см.}$$

Глубина врубки определяет минимальные размеры элементов; исходя из условия ослабления сечения не более 50%, получаем:

$$b = 8 \text{ см};$$

$$b_2 = 16 \text{ см.}$$

Расчет на скалывание по ф-ле (25) дает:

$$l_1 = \frac{5400 \cdot 0,726}{2 \cdot 15 \cdot 1,0 \cdot 12} = 11,5 \text{ см.}$$

Принимаем  $l_1 = 16 \text{ см}$ , что соответствует четырехкратной глубине врубки.

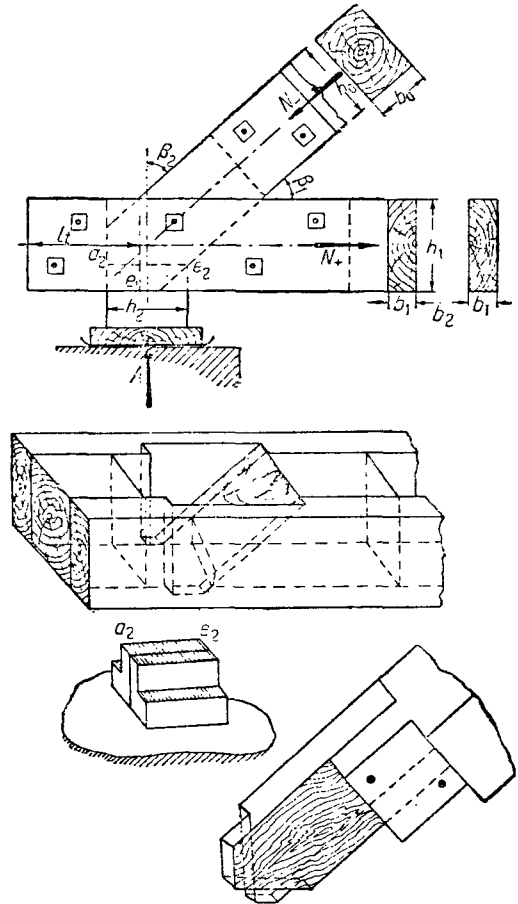
**Пример 10.** При данных примера 9 требуется рассчитать ножничную врубку с дубовым наконечником:

для  $\beta_1 = 50^\circ$  и

$$\frac{N_{\perp}}{k_n \cdot h_1} = \frac{5400}{1,00 \cdot 18} = 300$$

по графику фиг. 28:

$$b'_c = 3,6 \text{ см};$$



Фиг. 26. Ножничная врубка с наконечником. Опорный узел фермы

для  $\beta_2 = 40^\circ$  и

$$\frac{N_{\perp}}{k_n \cdot h_2} = \frac{5400}{1,00 \cdot 15} = 360$$

по графику фиг. 28:

$$b'_c = 4,2 \text{ см.}$$

Принимаем:

$$l'_c = l'_o = 5 \text{ см.}$$

Таким образом минимальные размеры элементов (при равнобедренной врубке):

$$b = 5 \text{ см (ослабление 2,5 см)},$$

$$b_2 = 10 \text{ см (ослабление 5 см)}.$$

**Пример 11.** Требуется рассчитать опорный узел (фиг. 26) в виде ножничной врубки с дубовым наконечником.

Дано:

$$\beta_1 = 30^\circ; \quad h_1 = 18 \text{ см}; \quad k_n = 0,90;$$

$$\beta_2 = 60^\circ; \quad h_2 = 15 \text{ см};$$

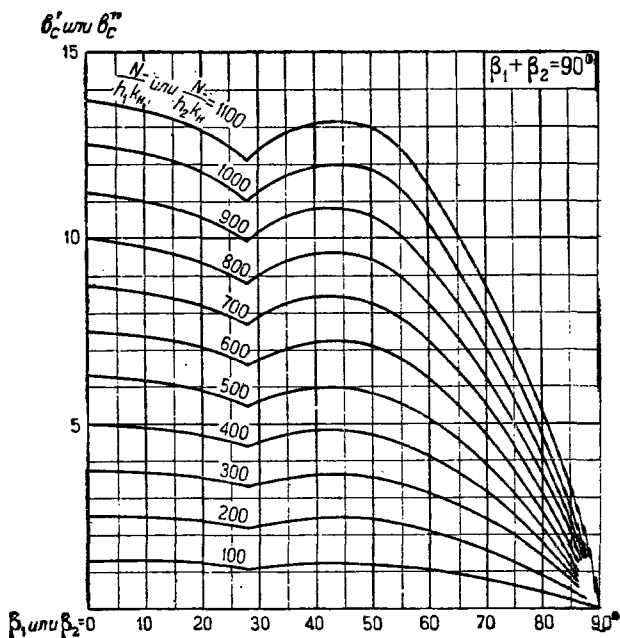
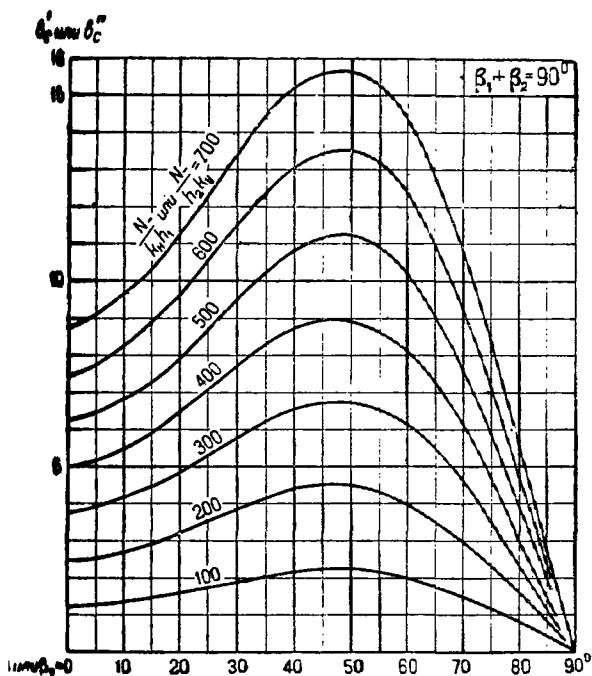
$$N_- = 6000 \text{ кг}; \quad h_0 = 15 \text{ см}.$$

по графику фиг. 28:

$$b_c' = 3,9 \text{ см}.$$

Принимаем:  $b_c' = b_c'' = 4 \text{ см}$  (перенапряжение в плоскости  $a_1e_1$  равно приблизительно 5%).

Принятая ширина площадки смятия определяет минимальные размеры элементов.



Фиг. 28. График для расчета ножничной врубки при дубовом наконечнике и  $\beta_1 + \beta_2 = 90^\circ$ ; график составлен при

$$[r_c]_{\alpha=0} = 80 \text{ кг/см}^2$$

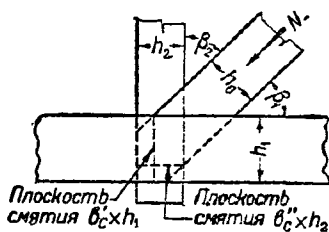
$$[r_c]_{\alpha=90} = 20 \text{ кг/см}^2 \quad \left. \begin{array}{l} \text{для сосны} \\ \text{и} \end{array} \right\}$$

$$[r_c]_{\alpha=0} = 110 \text{ кг/см}^2$$

$$[r_c]_{\alpha=90} = 40 \text{ кг/см}^2 \quad \left. \begin{array}{l} \text{для дуба} \\ \text{[см. Ф-лу (25)]} \end{array} \right\}$$

Можно принять:

$$l_t = 7 \frac{b_c}{2} = 7 \cdot \frac{4}{2} = 14 \text{ см}.$$



Фиг. 27. График для расчета ножничной врубки при сосновом наконечнике и  $\beta_1 + \beta_2 = 90^\circ$ ; графики составлены при  $[r_c]_{\alpha=0} = 80 \text{ кг/см}^2$  и  $[r_c]_{\alpha=90} = 20 \text{ кг/см}^2$

Для  $\beta_1 = 30^\circ$  и

$$\frac{N_-}{k_n \cdot h_1} = \frac{6000}{0,90 \cdot 18} = 370$$

по графику фиг. 28:

$$b_c' = 4,2 \text{ см}.$$

Для  $\beta_2 = 60^\circ$  и

$$\frac{N_-}{k_n \cdot h_1} = \frac{6000}{0,90 \cdot 18} = 370$$

**Пример 12.** Требуется рассчитать узел верхнего пояса в виде ножничной врубки с дубовым наконечником (фиг. 29). Дано:  $N_- = 8500 \text{ кг}$ ; усилие в стойке А:  $N_c'' = 3000 \text{ кг}$ ;  $h_1 = 20 \text{ см}$ ;  $k_n = 0,90$  (для сосны) и  $k_n' = 1,0$  (для дуба).

$$h_2 = 16 \text{ см},$$

$$h_0 = 16 \text{ см},$$

$$\beta_2 = 45^\circ, \quad \beta_1 = 35^\circ.$$

Для  $\beta_2 = 45^\circ$  и

$$\frac{N_-}{N_c''} = \frac{8500}{3000} = 2,83$$

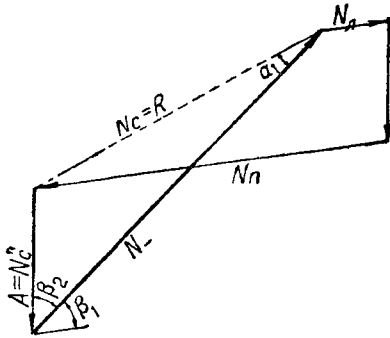
по графику фиг. 30 находим:

$$N_c' = 2,25 N_c'' = 6750 \text{ кг}; \quad \alpha_1 = 18^\circ 30'.$$

Следовательно:

$$\alpha'_1 = \beta_1 - \alpha_1 = 35^\circ - 18^\circ 30' = 16^\circ 30'$$

$$b'_c = \frac{N'_c}{h_0 \cdot k_n [n_c]} = \frac{6750 \cdot 0,948}{16 \cdot 0,90 \cdot 64} = 6,96 \text{ см,}$$



$$b''_c = \frac{N'_c}{h_2 k_n [n_c] \beta_2} = \frac{3000}{16 \cdot 59} = 3,18 \text{ см;}$$

где для дуба:

$$k'_n [n_c]_{\beta_2} = 59 \text{ кг/см}^2;$$

для сосны:

$$k_n [n_c]_0 = 0,90 \cdot 80 = 72 \text{ кг/см}^2 > 59 \text{ кг/см}^2.$$

Принимаем разностороннюю врезку:

в поясе  $b'_c = 7 \text{ см}$  (по 3,5 см с каждой стороны);  
в стойке  $b''_c = 4 \text{ см}$  (по 2 см с каждой стороны).

Отсюда минимальные размеры элементов (фиг. 29):

$b_1 = 7 \text{ см}$  } из условия ослабления не  
 $b_2 = 2 \cdot 4 = 8 \text{ см}$  } больше 50%;

$$l_t = 7 \cdot \frac{b'_c}{2} = 14 \text{ см}$$

( $l_t$  принято равным семикратной глубине врезки гнезда стойки).

### 3. Надежность узловых сопряжений на врубках

О надежности того или иного типа сопряжений судят прежде всего по надежности конструкции на сопряжениях этого типа в целом, но отнюдь не по коэффициентам запаса в отдельных ее частях.

Если напряжение смятия превзойдет в 1,5—2 раза допустимое, то это вызовет лишь более значительное обжатие сминаемой поверхности и соответствующее увеличение деформаций, но, как правило, не повлечет разрушений конструкции.

Если напротив местное перенапряжение будет иметь место в скальваемой плоскости, то возможны последовательное скалывание отдельных участков сопряжения и вследствие этого разрушение узла и всей конструкции в целом.

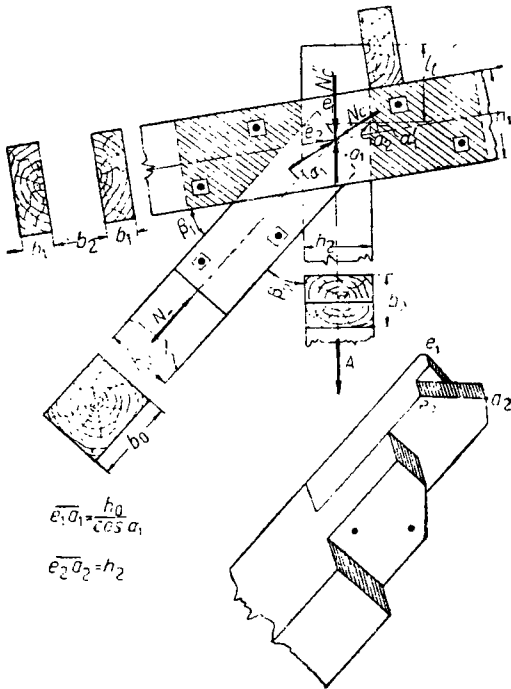
Прочность сопряжений на врубках в значительной мере определяется точностью их выполнения, к сожалению зависящей от индивидуальной квалификации рабочего. Всякая неточность тем более опасна, чем сильнее она может влиять на распределение и величину скальвающих напряжений.

Наконец необходимо отметить особое влияние на надежность врубок качества лесоматериалов и их влажности.

В случае применения недостаточно просушенного материала возможно полное или частичное разрушение работающих на скалывание поверхностей только вследствие внутренних напряжений от усушки даже при отсутствии внешней нагрузки.

Наличие хотя бы небольших внутренних напряжений существенно понижает сопротивляемость врубок скальвающим усилиям, возникающим при действии внешней нагрузки.

Поскольку надежность всей конструкции на врубках зависит от возможности скалывания какой-либо незначительной части элемента, приходится признать, что большинство врубок



Фиг. 29. Поширенная врубка с внешней нагрузкой на верхний пояс

где для дуба:

$$k'_n [n_c]_{\alpha_1} = 1 \cdot 93,5 \text{ кг/см}^2 = 93,5 \text{ кг/см}^2;$$

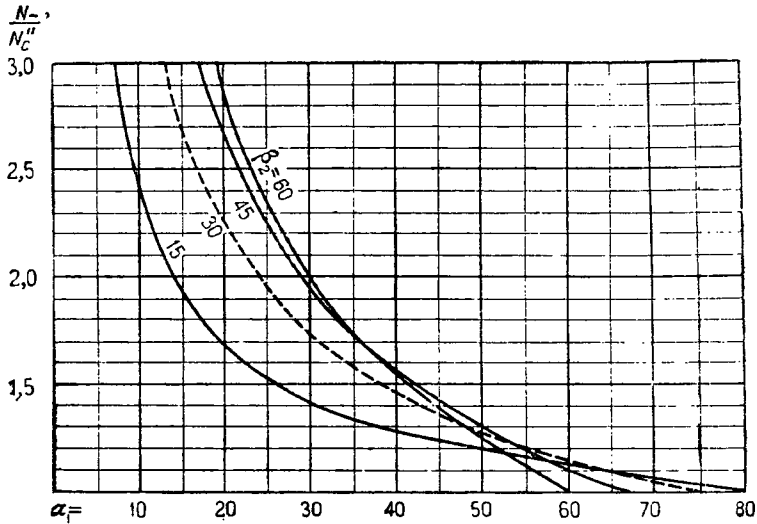
для сосны

$$k_n [n_c]_{\alpha'_1} = 0,90 \cdot 64 = 57,6 \text{ кг/см}^2 < 93,5 \text{ кг/см}^2;$$

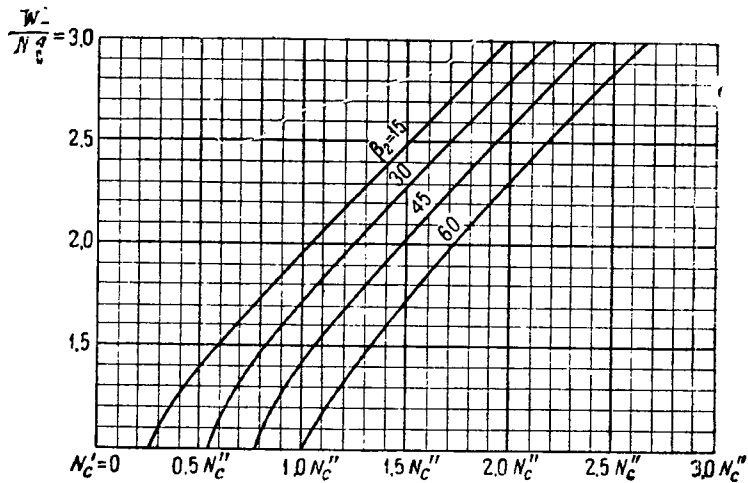


вообще не может быть допущено в современном инженерном строительстве и применимы лишь те врубки, в которых опасность скалывания может быть предотвращена.

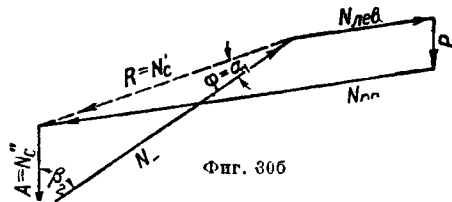
скрепить податливыми связями (зубчато-кольцевые шпонки, нагели). Исходя из изложенного, основными формами врубок следует признать:



Фиг. 30



Фиг. 30а



Фиг. 30б

Номограмма для определения величин  $\alpha_1$  и  $N_c$

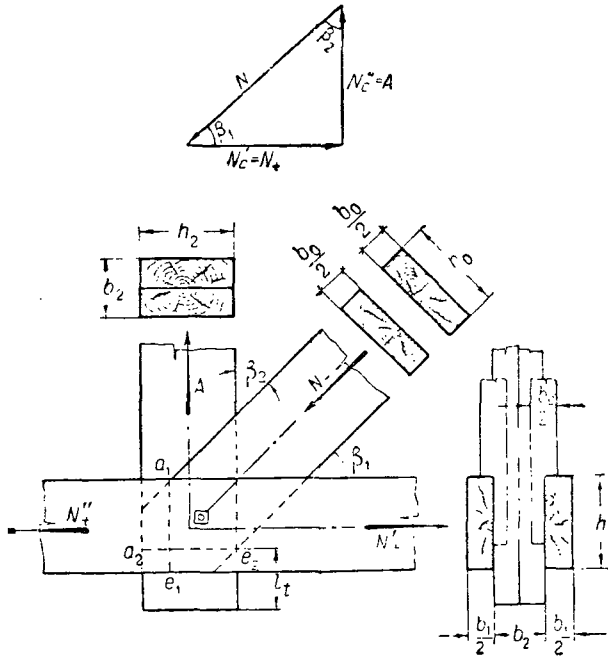
Врубки, приведенные на фиг. 21, 22, в этом отношении можно признать удовлетворительными.

Удовлетворительны также и врубки по фиг. 23, если упорные прокладки и накладки стойки

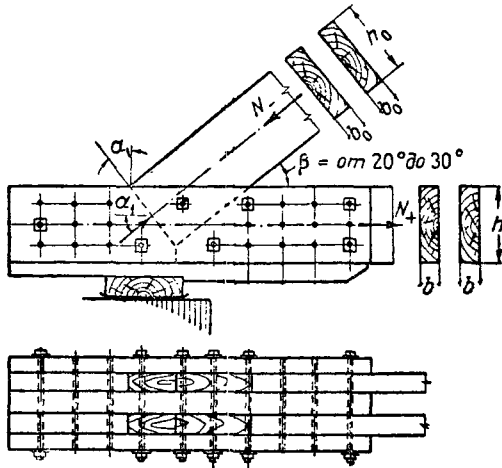
а) лобовые врубки, у которых «аварийный болт» является надежной страховкой на случай разрушения узла от скалывания;

б) шевовые треугольные врубки и трехплоскостные врубки, у которых сжатый элемент

упирается в соответствующую прокладку, скрепленную с основными элементами надежными податливыми связями (гвозди, зубчато-кольцевые шпонки, болтовые нагели малого диаметра и пр.);



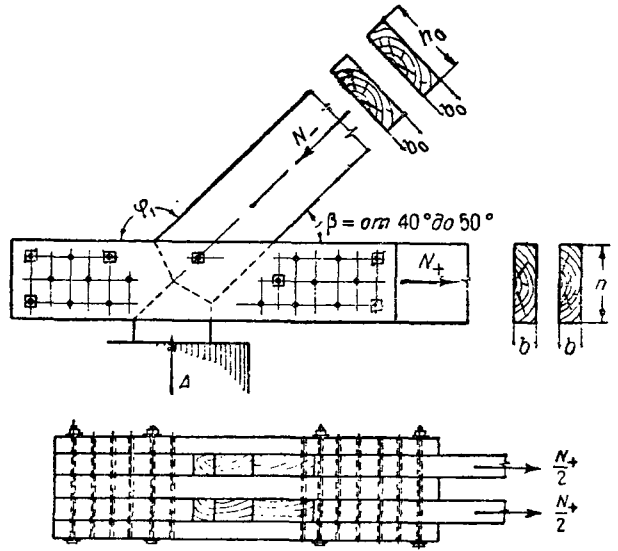
Фиг. 31. К примеру расчета



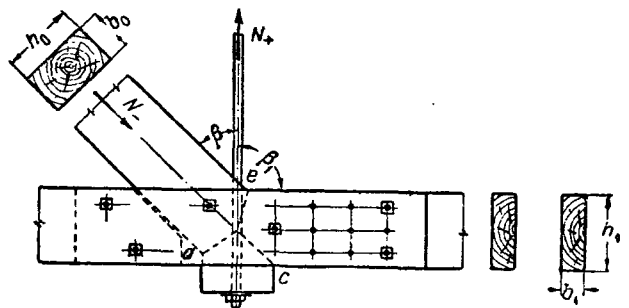
Фиг. 32. Рекомендуемая форма узловых сопряжений

в) трехплоскостные врубки с металлическими растянутыми элементами (тяжками) по схеме фиг. 21 и 22.

На фиг. 32, 33, 34 даны основные формы узловых сопряжений, удовлетворяющих поставленным выше требованиям.



Фиг. 33. Рекомендуемая форма узловых сопряжений



Фиг. 34. Рекомендуемая форма узловых сопряжений

ЛИТЕРАТУРА

1. Технические условия и нормы (ТУ и Н) проектирования и возведения деревянных конструкций, изд. 1931 и 1933 гг.
2. Технические отчеты испытания врубок в секции деревянных конструкций ЦНИИС за 1930—1934 гг.
3. Карлсен Г. Р., Деревянные конструкции (сообщение, заслушанное в марте 1939 г. на Высших курсах по организации капитального строительства).

Проф. Г. Р. КАРЛСЕН

III. СОПРЯЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА РАСТЯНУТЫХ КРЕНЯХ

Деревянные сооружения нередко решаются в виде смешанных железо-деревянных конструкций.

Дерево, легко сопрягаемое в сжатых стыках простым «лобовым узором», трудно сопрягается при наличии растягивающих усилий. Этот не-

достаток дерева легко компенсируется выполнением растянутых элементов из железа (стали) в виде растянутых крепей.

Коэффициент использования сечения в растянутом стыке для металла с применением сварки легко доводится до 1,0; при наличии прокладок

и накладок для дерева он обычно составляет 0,7—0,9. Этим, с одной стороны, и хорошей работой дерева на продольный изгиб — с другой, объясняется малый вес железо-деревянных стропильных ферм, имеющих стальные растянутые и деревянные сжатые стержни; вес таких ферм меньше веса соответственных цельно-металлических или цельно-деревянных сквозных конструкций.

Несомненно арочные и сводчатые конструкции, в которых растяжение будет восприниматься металлическими затяжками, а сжатие и изгиб — деревянной аркой или деревянным сводом, получат широкое применение.

Только в химической промышленности, в паровозных депо, в гидротехнических деревянных конструкциях и вообще в условиях, способствующих коррозии стали, а также при опасности разрушения стали от аварийного воздействия высоких температур в дальнейшем придется решать конструкции, как правило, без применения металла, на клею, врубах, дубовых нагелях и т. п.

Во всех смешанных конструкциях с растянутыми металлическими стержнями необходимо избегать местного ослабления последних. Все присоединения и стыки должны решаться с избыточной крепостью сечения для того, чтобы при вынужденных деформациях металлический стержень подвергался упругой и пластической вытяжке по всей рабочей длине, а не только в ослабленной части сго. При длине стержня более 1—2 м сварка в стыках должна производиться с избыточным добавлением металла, болтовая нарезка должна осуществляться только в утолщенных горячей осадкой частях круглых стержней и т. п.

Соблюдение этого требования имеет особенно большое значение в случае вероятности многократного появления вынужденных деформаций и результате попеременного разбухания и усыхания сопрягаемых деревянных частей поперек волокон, а также при многократном напряженном воздействии на металл температурных колебаний; в таких случаях местное ослабление недопустимо даже в коротких (меньше 1 м) растянутых креплениях, поскольку при наличии местных ослаблений местные перенапряжения при многократной повторяемости неизбежно приводят к преждевременному разрушению металла от усталости.

Для обеспечения химической равнопрочности в смешанных железо-деревянных конструкциях сталь должна быть защищена от коррозии тщательной лакировкой или окцинковкой, а дерево от гниения — «суперобмазкой». Особенно необходимо проведение этих мероприятий во внутренних скрытых частях конструкций, в которых наиболее вероятно вредное воздействие дифференциальной конденсации и в которых затруднено применение антикоррозийных мероприятий в последующем.

Если возможен хотя бы и местный аварийный нагрев натяжки до  $t^{\circ} > 400^{\circ}$ , внешние части металла должны быть защищены от непосредственного воздействия высоких температур асбестовыми или иными огнестойкими обмазками и обмотками.

Применение в деревянных конструкциях коротких металлических стыковых или узловых накладок должно быть обосновано технико-экономическим анализом. Как правило, из сообра-

жений равнопрочности стыковые накладки следует решать в дереве, прибегая к металлу лишь при стесненных габаритах, т. е. в случаях, когда действительно необходимо использование концентрированной крепости стали.

Для обеспечения хорошего проветривания деревянных частей ширина металлических накладок должна быть минимальной. Это необходимо также и потому, что широкие цельные накладки препятствуют неизбежному усушке и разбуханию дерева поперек волокон и могут вызвать появление в нем продольных трещин. Лучше применить 2—4 узких полосы, чем одну широкую.

Простейшим типом накладок «когтевого типа» являются обычные строительные скобы. При диаметре шипа скобы более 6—8 мм гнездо для шипов должно быть рассверлено на глубину  $\frac{1}{3}$ — $\frac{2}{3}$  длины шипа; при соблюдении этого требования сопряжения на скобах могут рассматриваться, как нагельные сопряжения с полным защемлением нагеля-шипа в месте загиба скобы.

В дальнейшем в сборно-разборных деревянных конструкциях крепление металлических накладок, как правило, будет осуществляться специальными когтевыми шайбами или тарельчатыми шпонками. Крепление металлических накладок, охватывающих дерево с двух сторон, сквозными рабочими нагелями и едопустимо ввиду неизбежности несоответствия отверстий, одновременно засверленных в двух накладках и в скрепляемом деревянном элементе. При отсутствии когтевых шайб и невозможности сквозного сверления сквозь металл и дерево металлические накладки следует крепить на односрезных глухарях, шурупах или гвоздях.

Во всех случаях крепление металлических накладок должно быть по д а т л и в ы м; диаметр глухарей должен быть по возможности не более половины нормального диаметра болтового нагеля, т. е.  $d_{ггх} \leq \frac{1}{2} d_n$  (см. ТУ и Н 1931 г., фиг 89); глубина заделки глухаря нормально составляет 5—6  $d_{ггх}$ ; гнездо для глухаря сверлится диаметром от 0,8  $d_{ггх}$  до 1,0  $d_{ггх}$ , глубиной менее длины глухаря на 2  $d_{ггх}$ . При двухстороннем креплении накладок длина глухарей должна быть менее половины толщины скрепляемого деревянного элемента.

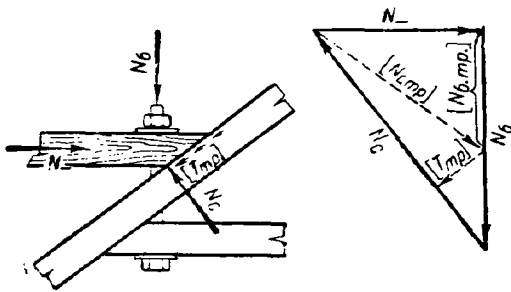
При соблюдении указанных требований предельное количество нагелей в ряду и количество рядов нагелей по длине накладки не ограничивается<sup>1</sup>.

В качестве основного крепления узла сопряжения на растянутых креплениях имеют в инженерных деревянных конструкциях ограниченное применение; одним из немногих примеров самостоятельного использования этой формы сопряжения является основной узел кружально-сетчатого свода «Цольбау» (фиг. 1).

Характерной особенностью этого типичного сопряжения на растянутых креплениях является «отрицательный распор», прижимающий сопрягаемые элементы друг к другу ( $N_c$ , фиг. 1). Силы трения  $T_{тр}$ , возбуждаемые этим поперечным обжатием, препятствуют скольжению сжа-

<sup>1</sup> О работе глухарей, шурупов и гвоздей в виде р а с т я н у т ы х к р е п е й на выдергивание, продвигание и разрыв см. «Нагельные соединения», стр. 100 и след.

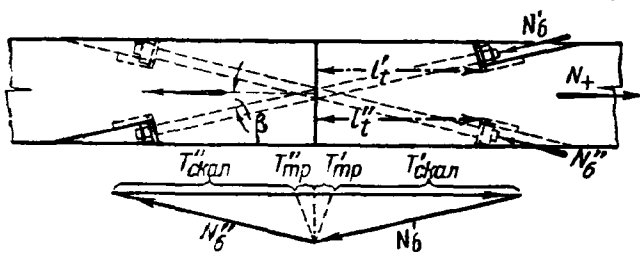
того элемента при поперечной усушке дерева в тем самым уменьшают натяжение болта, хомута или скобы: к сожалению это свойство отрицательного распора не может быть использовано в целях снижения диаметра болта, так как при неизбежном периодическом разбухании дерева силы трения, изменив направление, не



Фиг. 1

только не будут облегчать работу болта, но, напротив, будут даже увеличивать его натяжение. Поэтому болт рассчитывается на полную силу  $N_6$  (а не  $N_6 \cdot \text{mp}$ ).

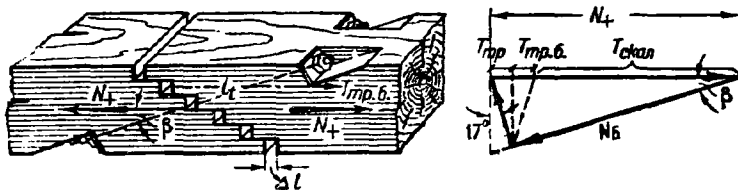
Резко выраженное влияние усушки и разбухания на работу сопряжений на растянутых



Фиг. 2

крепях является одной из основных причин малой применимости их в капитальных деревянных конструкциях.

В растянутых стыках на растянутых крепях (фиг. 2 и 3) влияние деформаций усушки и разбухания может быть снижено путем уменьше-



Фиг. 3

нии угла  $\beta$  (между направлением сопрягаемых элементов и направлением растянутых крепей). Уменьшение угла  $\beta$  не только снижает влияние усушки и разбухания, но уменьшает также усилие  $N_6$ , растягивающее болты. Нижний предел уменьшения угла  $\beta$ , вызывающий чрезмерное увеличение длины самих болтов, определяется главным образом экономическими и производственными соображениями.

Надежность работы всего сопряжения определяется главным образом сопротивлением

«на скалывание», которое зависит не столько от длины скалываемых поверхностей, сколько от их ширины.

В сопряжениях, работающих только на растяжение (по схеме фиг. 2),  $\text{tg} \beta$  можно принимать равным около  $1/4$ ; дальнейшее значительное уменьшение  $\beta$  мало эффективно, поскольку оно устраняет благоприятное влияние трения, вызываемого поперечным обжатием, и не увеличивает в значительной мере сопротивления скалыванию.

В элементах, работающих на растяжение и изгиб при наличии небольшой поперечной и продольной силы,  $\text{tg} \beta$  может быть увеличен до  $1/3$  (фиг. 3); при этом угле в защищенных сооружениях, как правило, еще можно пренебречь влиянием усушки и разбухания на величину продольных смещений.

Применение сопряжений по схеме фиг. 2 и 3 оправдывается только при стесненных поперечных габаритах при отсутствии специальных когтевых шайб или при наличии знакопеременных нагрузок. В некоторых случаях такое соединение может быть оправдано, несмотря на его несовершенство и трудоемкость исполнения, необходимостью последующего подтягивания растянутого стыка.

При этом между торцами сопрягаемых элементов конечно оставляется соответствующий зазор  $\Delta l$  (фиг. 3).

Нормально растянутые стыки надежнее и экономичнее конструируются с накладками и прокладками, на гвоздях или цилиндрических нагелях. Силачивание брусев в балках составного сечения следует поэтому осуществлять тоже не на растянутых крепях, а на гвоздях или на пластинчатых нагелях, тем более, что растянутые крепи, как и косые шпонки, работают только в одном направлении и знакопеременных усилий воспринимать не могут.

Сопряжения на растянутых крепях получили весьма широкое и ответственное применение в виде вспомогательных связующих стяжных болтов и хомутов.

Стяжные болты, как правило, служат центральными направляющими при сборке деревянных конструкций; они облегчают монтаж деревянных конструкций и обеспечивают при правильной эксплуатации плотное сопряжение элементов в узлах и стыках.

Кроме того при правильных размерах и рациональном размещении стяжных болтов может быть достигнуто существенное увеличение надежности конструкции.

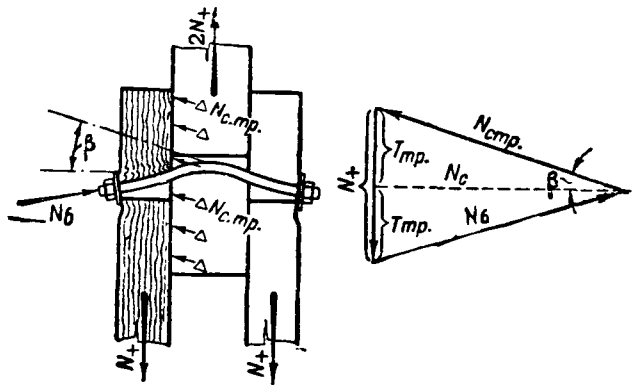
В узловых и стыковых сопряжениях на врубках или шпонках стяжной болт, как правило, в пределах расчетных нагрузок работает только на незначительное растяжение, обусловленное начальной затяжкой или влиянием распора от основной рабочей крепи.

В случае разрушения основной крепи болт вступает в работу как нагель; при чрезмерной жесткости сечения болта последний, почти вовсе не увеличивая надежности сопряжения, может, не изгибаясь, выколоть край доски.

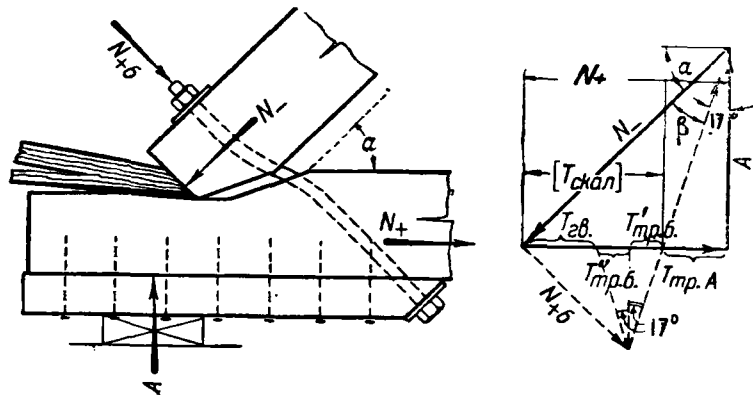
Если болт достаточно тонок (соответственно толщине сопрягаемых досок), то он изгибается ранее, чем произойдет скалывание; изогнувшись, болт начинает работать как цепь и натяжением своим создает значительное трение, препятствующее полному разрушению сопряжения; особенно велико значение работы болта как цепи в жестких — хрупких — соединениях, способных разрушиться от скалывания при малой затрате работы. В некоторых старых брусчатых ДК удачно расставленные болты предотвращали внезапное аварийное обрушение всей конструкции. В сопряжениях на податливых креплениях значение гибкости болта не так велико, однако и здесь в целях увеличения надежности сопряжения сечение стальных болтов и количество их

следует назначать с таким расчетом, чтобы изгиб болта и возбуждение трения вследствие ценного натяжения болта наступали ранее, чем произойдет выкалывание конца.

Если диаметр болта (фиг. 4) не определяется монтажными или специальными расчетными соображениями, его следует назначать не более нормального диаметра болтового нагеля, предусматривающего полное использование нагельной работы болта на изгиб. Лучше ставить несколько более тонких болтов вместо одного толстого.

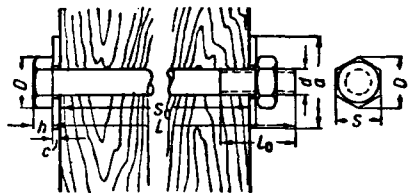


Фиг. 4



Фиг. 5

Болты и шайбы (дюймовый сортмент)



Фиг. 6

Таблица 1

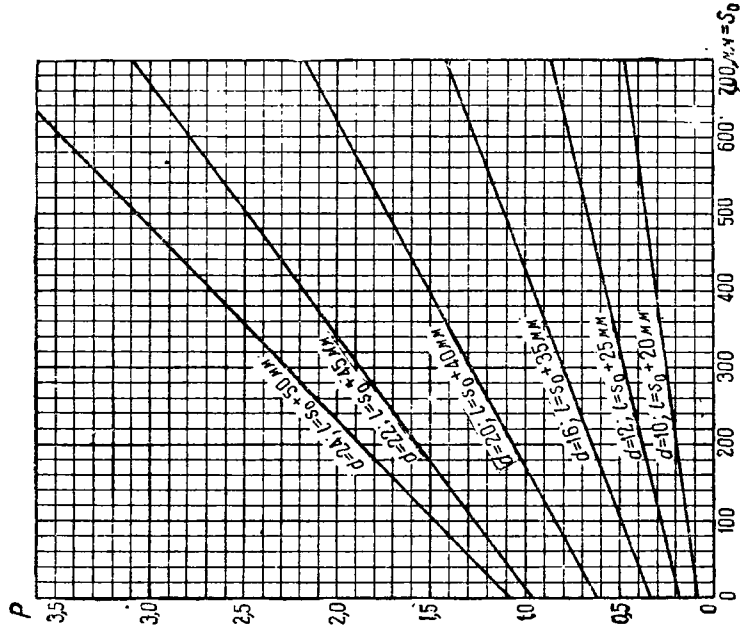
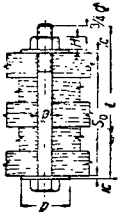
| d     |       | F <sub>нетто</sub><br>в см <sup>2</sup> | N <sub>б</sub><br>в кг | D<br>в мм | с<br>в мм | G <sub>1</sub><br>в кг | G <sub>1</sub> в кг |          | G <sub>ш</sub> в кг |        |
|-------|-------|---|------------------------|-----------|-----------|------------------------|---------------------|----------|---------------------|--------|
| в мм  | в дюм |   |                        |           |           |                        | квдр.               | шестигр. | квдр.               | кругл. |
| 8,35  | 1/4   | 0,175                                   | 192                    | 12,7      | 2         | 0,25                   | 0,0108              | 0,0102   | 0,0061              | 0,0047 |
| 7,94  | 5/16  | 0,295                                   | 324                    | 16,2      | 2,5       | 0,39                   | 0,0212              | 0,0200   | 0,0145              | 0,0138 |
| 9,53  | 3/8   | 0,441                                   | 485                    | 19,6      | 3         | 0,56                   | 0,0365              | 0,0346   | 0,0252              | 0,0194 |
| 12,40 | 1/2   | 0,784                                   | 862                    | 25,4      | 4         | 1,00                   | 0,0867              | 0,0817   | 0,0596              | 0,0459 |
| 15,88 | 5/8   | 1,311                                   | 1 442                  | 31,2      | 4         | 1,54                   | 0,1605              | 0,1515   | 0,0887              | 0,0609 |
| 19,05 | 3/4   | 1,961                                   | 2 157                  | 36,9      | 5         | 2,22                   | 0,2673              | 0,2533   | 0,1797              | 0,1337 |
| 22,23 | 7/8   | 2,720                                   | 2 992                  | 41,6      | 6         | 3,03                   | 0,3969              | 0,3759   | 0,2824              | 0,2170 |
| 25,40 | 1     | 3,575                                   | 3 932                  | 47,3      | 7         | 3,98                   | 0,6001              | 0,5701   | 0,4158              | 0,3208 |
| 28,58 | 1 1/8 | 4,497                                   | 4 946                  | 53,1      | 8         | 5,04                   | 0,8375              | 0,7955   | 0,5860              | 0,4530 |
| 31,75 | 1 1/4 | 5,768                                   | 6 344                  | 57,7      | 8         | 6,22                   | 1,1041              | 1,0472   | 0,7810              | 0,6030 |
| 34,92 | 1 1/2 | 6,837                                   | 7 520                  | 63,5      | 9         | 7,47                   | 1,4516              | 1,3796   | 1,0382              | 0,7957 |
| 38,10 | 1 3/8 | 8,388                                   | 9 226                  | 69,3      | 10        | 8,95                   | 1,8851              | 1,8071   | 1,3400              | 1,0320 |
| 41,28 | 1 3/4 | 9,495                                   | 10 444                 | 75,1      | 10        | 10,50                  | 2,4088              | 2,2883   | 1,5470              | 1,1910 |
| 44,45 | 1 7/8 | 11,311                                  | 12 442                 | 80,8      | 11        | 12,10                  | 3,0122              | 2,8622   | 1,9420              | 1,4990 |
| 50,80 | 2     | 14,912                                  | 16 403                 | 92,4      | 13        | 15,91                  | 4,3923              | 4,1793   | 3,0990              | 2,3900 |

d — внешний диаметр резьбы;  
 F<sub>нетто</sub> — ослабленное — полезное сечение болта;  
 N<sub>б</sub> — допустимое растягивающее усилие при [n<sub>+</sub>] = 1 100 кг см<sup>2</sup>;  
 D ≈ 2d — наибольший размер гайки.

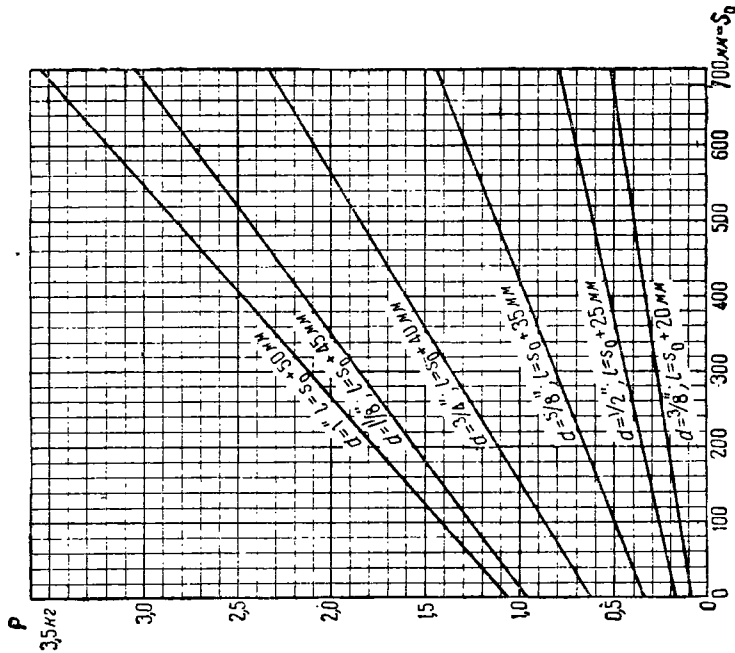
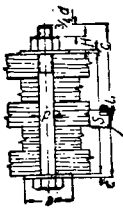
При условии соблюдения этого требования можно рассчитывать на 1,5—2-кратное увеличение аварийной надежности работы каждого болтового нагеля, снабженного гайкой, головкой

поэтому учет трения здесь вполне оправдан, а влиянием поперечных усушки и разбухания дерева здесь можно пренебречь.

При назначении размеров стяжных болтов



Фиг. 8. Вес болтов с шайбами и гайками



Фиг. 7. Вес болтов с шайбами и гайками

и шайбами, поскольку угол  $\beta$  (фиг. 4) поворота рабочего сечения нагеля при достаточной начальной натяжке его, как правило, не превышает угла трения ( $\sim 17^\circ$ ) даже при аварийных смещениях.

В этой работе болта расчет ведется на аварийное однократное и сравнительно кратковременное использование его в виде растянутой крепи;

для лобовой врубки опорного узла деревянной конструкции (фиг. 5) можно тоже считаться с возбуждением сил трения в случае аварийного скалывания конца растянутого бруса.

В основном расчете врубки длина скалываемого конца растянутого бруса теоретически может определяться с учетом внутреннего трения  $T_{тр-А} = 0,3A$ , возбуждаемого только опорным давлением  $A$ .

При определении сечения стяжного болта, работа которого вовсе не учитывается в основном расчете, аварийная сила натяжения его принимается равной:

$$N_{+c} = (N_-) \operatorname{tg} \beta = (N_-) \operatorname{tg} [90^\circ - (\alpha^\circ + 17^\circ)],$$

т. е. в предположении уже происшедшего скалывания и с учетом не только трения  $T_{тр \cdot A}$ , но и трения  $T_{тр \cdot c}$  от натяжения болта. Поскольку и эта  $N_{+c}$  сила при аварийном смещении неизбежно еще несколько уменьшится за счет нагельной работы болта и изгиба его, расчетное аварийное напряжение на разрыв самого болта может быть принято равным 0,6—0,8 от временного сопротивления на разрыв болтового железа.

Нормальные размеры болтов, соответствующих им шайб и т. д. приведены в табл. 4 и на фиг. 6.

Вес  $P$  болтов с шайбами и гайками для метрического и дюймового сортамента дан на графиках<sup>1</sup> фиг. 7 и 8.

$a \approx 3,5d$  — диаметр шайбы или сторона квадрата шайбы;

$c \approx 0,25d$  — толщина шайбы;

$g_1$  — вес 1 м болтового металла;

$g_2$  — вес головки + вес гайки + вес болтового металла при гайке;

$g_m$  — вес одной шайбы.

Вес металла в одном болтовом сопряжении:

$$G_m = (g_1 S_0 + g_2 + 2g_m),$$

где  $S_0$  — суммарная толщина (в метрах) сопрягаемых досок, в которой должны быть учтены щели между досками (приблизительно по 2 мм на каждую щель) и возможное производственное разбухание самих досок (2—4%).

Инж. В. Ф. ГАУЗЕ

## IV. ШПОНКИ

### 1. Общие сведения

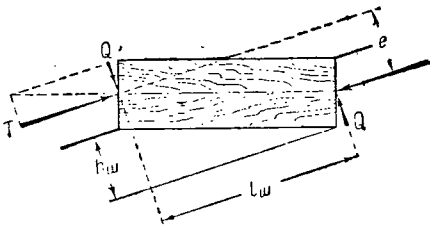
Шпонками называется группа соединений, характеризуемых следующими признаками:

1) сама соединяющая «крен» работает преимущественно на сжатие;

2) опрокидывающая шпонку пара продольных сил  $T$  уравновешивается парой сил поперечного распора.

Обыкновенная косая шпонка (фиг. 1) является классическим примером крепления такого рода.

Усилия  $T$ , действующие в элементах, сжимают шпонку и одновременно создают опрокидывающий момент  $M = T h_{мин}$ .



Фиг. 1

Полученный момент гасится парой поперечных сил, создающей момент  $M_2 = Q l_{мин}$ .

Наличие этой пары обуславливает необходимость постановки рабочих связей, воспринимающих распор шпонки.

Из условий равновесия непосредственно определяется:

$$M_2 = M_1 \text{ и } Q = T \frac{h_{мин}}{l_{мин}}.$$

Разрушение шпоночного сопряжения при некотором превышении расчетной нагрузки возможно вследствие:

- разрушения самой шпонки;
- разрушения скрепленных ею частей;
- разрушения рабочих связей сопряжения.

Наибольшую опасность представляет разрушение шпоночных сопряжений от скалывания или разрыва скрепляемых частей.

Скалывание самих шпонок (фиг. 5) обычно не является причиной разрушения сопряжений,

поскольку встречный характер приложения усилий обеспечивает при расчете по нормам достаточно равномерное распределение в шпонке промежуточных скалывающих напряжений<sup>2</sup>.

Скалывание концевых частей сопрягаемых элементов в растянутых сопряжениях вызывается, напротив, весьма неравномерным распределением скалывающих напряжений; разрушение растянутых стыков на призматических и гладких кольцевых шпонках, как правило, наступает вследствие комбинированного разрыва и скалывания в результате перенапряжения ближайших (к месту приложения усилия) участков. Внезапность и катастрофичность такого разрушения гребуют ограничения применения и особо осторожного проектирования сопряжений этого типа.

Для того чтобы параллельная работа двух и более креней была надежной, необходимо обеспечить достаточные вязкость и податливость каждой из креней (в том числе и шпонок), дабы разрушение наступало не от скалывания, а от смятия дерева. Диаграмма работы дерева на смятие (даже вдоль волокон) имеет зону пластических деформаций, вполне достаточную для обеспечения совместной работы параллельно включенных элементов сопряжений.

Надежность зубчато-кольцевой шпонки обусловлена дробным приложением усилий при ответственном увеличении поверхности скалывания.

Достоинство когтевых нащадок заключается в том, что они обеспечивают благодаря вдавлению когтей или зубцов начальную плотность сопряжения независимо от качества исполнения.

### 2. Призматические (линейные) шпонки

Призматические шпонки представляют собой первичную форму шпонки; они применяются при продольном сращивании и сращивании брусьев и обтесанных бревен; в узловых сопряжениях эти шпонки неприменимы. Основным недостатком призматических шпонок в работе на растяжение является сильное ослабление рабочего сечения вследствие сквозным пропилом.

<sup>1</sup> Составлены инж. Новиковым А. А. в Проектной-проект.

<sup>2</sup> См. «Скалывание», стр. 43 и след.

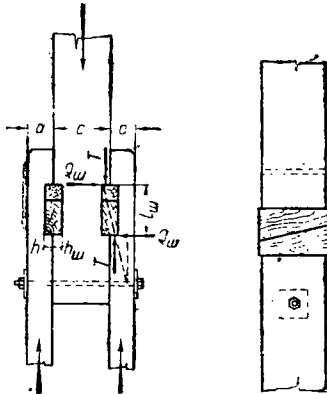
### 1) Поперечные деревянные шпонки

Направление волокон шпонки перпендикулярно к направлению волокон рабочего элемента (фиг. 2 и 3).

Сопряжения на таких шпонках отличаются небольшой мощностью вследствие малого допускаемого напряжения на смятие и скалывание шпонки поперек волокон. В случае усушки шпонка дает большие деформации сопряжения. Плотность сопряжения должна быть обеспечена подклиниванием. Сопряжение податливо в работе.

#### а) Поперечная натяжная дубовая шпонка

Эта шпонка состоит из двух клиньев, загоняемых в гнездо навстречу друг другу (фиг. 2). Применяется только в кустарном производстве для продольного сплачивания сжатых или изгибаемых элементов.



Фиг. 2

Шпонки нормальной длины  $l_{шп} = 4h_{шп}$  рассчитываются на смятие дуба поперек волокон; короткие шпонки  $l_{шп} \leq 3h_{шп}$  рассчитываются на скалывание.

Эксцентричное приложение усилий создает опрокидывающий момент  $M = T \cdot h_{шп}$ , погашаемый парой  $Q_{шп} \cdot l_{шп}$ .

При достаточной длине шпонки ( $\frac{l_{шп}}{h} \geq 4$ ) усилие  $Q_{шп}$  передается сопрягаемым элементам через трение рабочих поверхностей в гнезде. При тщательном изготовлении шпонка может воспринимать знакопеременные усилия.

Для установки шпонок в элементах тщательно прорезаются гнезда. Затем элементы собираются на болты и шпонки загоняются в заготовленные гнезда. В первое время эксплуатации необходима периодическая подклинка шпонок.

#### б) Цилиндрическая дубовая шпонка

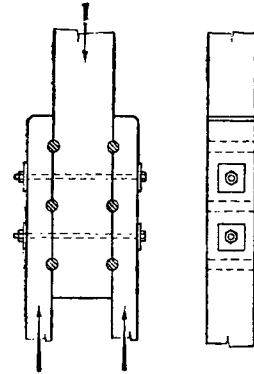
Такая шпонка дает плотное, но слабое сопряжение (фиг. 3). Расчет ведется на скалывание дуба шпонки поперек волокон. Распор определяется по формуле:

$$Q_{шп} = T_{шп} \frac{d_{шп}}{2d_{шп}} = \frac{T_{шп}}{2}$$

При сборке в собранной и стянутой на болтах конструкции засверливаются отверстия для шпонок. Сверла должны иметь ведущее по щели «жало». Шпонки загоняются в гнезда в виде слегка заостренных в конце точеных цилиндрических стержней из тщательно высушенного дуба.

### 2) Продольные деревянные шпонки (фиг. 4 и 5)

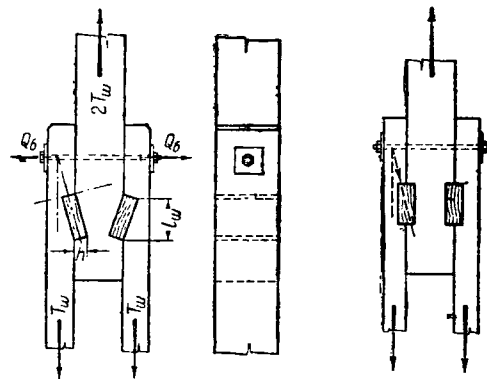
Направление волокон шпонки приблизительно соответствует направлению усилия и волокон в сплачиваемых элементах. Мощность сопряжения значительно выше по сравнению с предыдущей группой. Ввиду большой жесткости сопряжения даже при тщательной пригонке в многорядовых сопряжениях все же может произойти последовательное скалывание по частям.



Фиг. 3

#### а) Продольная косая шпонка

Шпонка имеет форму косого или прямоугольного параллелепипеда (фиг. 4). Последняя дает несколько более податливое сопряжение и позволяет для долбежки гнезд применять ценно-долбежный станок. Обычно шпонка выполняется из дуба, но ввиду работы шпонки только на сжатие вдоль волокон дуб может быть заменен отборной сосной.



Фиг. 4

Фиг. 5

Продольная шпонка применяется главным образом для сплачивания брусев в составных балках. Применение ее в дальнейшем не рекомендуется ввиду опасности скалывания соединения по частям. В настоящее время в СССР она вытесняется пластинчатыми нагельями (системы Деревягина)<sup>1</sup>.

Косая шпонка является типичным примером крени, работающей на сжатие. Возникающий вследствие эксцентричного приложения усилия  $T$  распор погашается натяжением болта.

Косая форма шпонки дает возможность воспринимать усилие только одного знака.

<sup>1</sup> См. «Балки на пластинчатых нагельях системы Деревягина».



Сопряжение — жесткое и при кустарном изготовлении недостаточно плотное.

При кустарном производстве гнезда нарезаются в каждом элементе порознь. Применение цепнодолбежного станка позволяет нарезать гнездо в сплоченных, изогнутых (в случае балок), стянутых болтами элементах с автоматической точностью без пригонки. Шпонки закладываются в гнезда без натяжения.

#### б) Продольная прямая дубовая шпонка

Прямая шпонка отличается от косой только своим расположением; направления волокон прямой шпонки и волокон сплачиваемых брусев совпадают (фиг. 5).

Схема работы та же, что и у косой шпонки. Усилие  $T$  воспринимается шпонкой, работающей на смятие и на скалывание. Величина распора та же, что и в косой шпонке. Единственным преимуществом прямой шпонки перед косой является ее способность при тщательном изготовлении воспринимать знакопеременные усилия.

Шпонка дает жесткое, недостаточно плотное сопряжение.

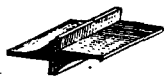
Процесс сборки тот же, что и при косой шпонке. Ввиду возможности скалывания прямые шпонки обычно делаются из крепких пород.

### 3) Металлические шпонки

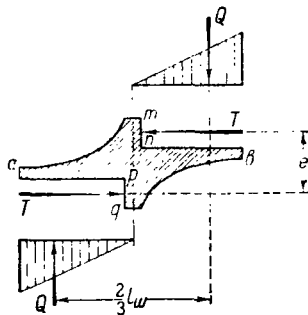
#### а) Шпонка Шульца

Шпонка Шульца имеет специальную форму и отливается из чугуна (фиг. 6).

Никакими преимуществами перед деревянными шпонками она не обладает кроме некоторого сближения основных рабочих поверхностей  $mn$  и  $pq$  по длине сопрягаемых элементов (фиг. 7). Это сближение позволяет соответственно укоротить длину сопряжения. Применение литого металла не оправдывается работой шпонки и создает предпосылки к температурному гистерезису. В многорядовых сопряжениях шпонка Шульца недопустима.



Фиг. 6. Общий вид



Фиг. 7. Схема работы

Усилие  $T$  воспринимается смятием поверхностей  $mn$  и  $pq$  (фиг. 7).

Момент  $M = Te$  погашается моментом  $Q \frac{2}{3} l_w$ , где  $Q$  — усилие распора, сдвигающее лопасти  $aq$  и  $bn$  шпонки волокна сопрягаемых элементов в поперечном направлении.

Стяжные болты должны воспринять все усилие распора. При постановке в сопряжении нескольких шпонок под ряд происходит «ввиду не-

равномерности их работы» перегрузка некоторых из них, в результате чего сопряжение разрушается обычно от скалывания дерева.

Сопряжение на шпонках Шульца — жесткое и недостаточно плотное.

Отверстия по форме шпонок нарезаются и выбираются в элементах по предварительной разметке.

При сборке конструкции шпонки закладываются без натяжения.

#### б) Прямоугольная металлическая шпонка

Этот тип шпонки применяется совместно с металлическими накладками для перекрытия стыков. В зависимости от способа соединения шпонок с накладками различаются три типа соединения:

1. Шпонки приклепаны к накладке (фиг. 8).

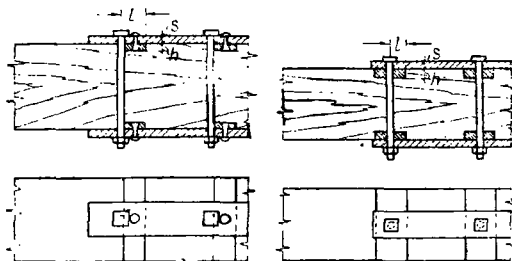
2. Шпонки соединены с накладкой при помощи стяжных болтов, поставленных в центрах шпонок и заменяющих заклепки (фиг. 9).

3. Шпонки применяются к стяжным болтам, не соединяясь непосредственно с накладками. Для предотвращения выпадения шпонок в шпонках этого типа вырезаются неглубокие лунки, соответствующие диаметру болтов, на глубину не более  $\frac{1}{4}$  диаметра.

Основным недостатком металлических шпонок всех трех типов является жесткость (хрупкость) сопряжений на них. Обеспечить равномерность работы всех шпонок даже при точной разметке их практически невозможно.

Применяется по преимуществу тип I в растянутых стыках брусчатых мостовых конструкций в случае невозможности постановки деревянных накладок.

Во всех случаях сама шпонка повернется на изгиб в сечениях, ослабленных заклепками, болтами или вырезами для болтов. Деревянный элемент повернется на смятие и скалывание под шпонкой и на разрыв в ослабленном сечении. Раньше величина распора во внимание не принималась (Патон), и болты рассчитывались только на срез; по ТУ и Н 1931 г. величина распора учитывается. Усилие  $T$ , воспринимаемое шпонкой по фиг. 8, создает момент  $M = T \cdot \left( \frac{h}{2} + \frac{s}{2} \right)$ . Момент погашается натяжением стяжных болтов при использовании жесткости накладки на изгиб.



Фиг. 8.

Фиг. 9.

Типы накладок для растянутых стыков.

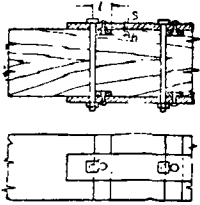
При числе шпонок в ряду до двух с достаточной точностью можно считать распределение усилия между шпонками равномерным. При большем числе шпонок в ряду в силу неточности резки гнезд отдельные шпонки неизбежно работают с перенапряжением. Согласно ТУ и Н при расчетах это учитывается введением коэффициента

$k = 0,9$  при постановке трех рядов шпонок и  $k = 0,8$  при постановке четырех шпонок.

Разрушение сопряжений происходит от скалывания дерева под давлением наиболее напряженной шпонок, что вызывает последовательную перегрузку и разрушение остальных шпонок.

Схема работы шпонок типа II (фиг. 9) аналогична предыдущей. В этом случае болт помимо растягивающего усилия  $Q_b = \frac{T}{l} \left( \frac{h}{2} + \frac{s}{2} \right)$  воспринимает срезающее усилие от работы шпонок.

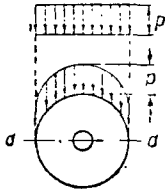
Тип III (фиг. 10) вследствие ослабления «дубной» краев шпонок в местах наибольших изгибающих шпонок моментов ни экономических, ни производственных преимуществ перед типами I и II не имеет.



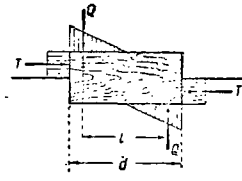
Фиг. 10. Типы накаток для растянутых стыков

Применение шпонок круглой формы было вызвано: 1) удобством производства работ (центровое сверление) и 2) возможностью сопряжения элементов под произвольным углом.

Высверливание в дереве гнезда круглого очертания значительно проще и точнее, поскольку положение его фиксируется точной разбивкой центров, а размеры — стандартным диаметром свер-



Фиг. 11. Схема I



Фиг. 12

ляльного приспособления. Кроме того отсутствие сквозного пропила обеспечивает меньшее ослабление момента инерции скрепляемых элементов. Центр шпонок, как правило, совмещается с центром стяжного болта, воспринимающего распор. Распределение рабочих напряжений смятия  $n_c$  по цилиндрической поверхности гнезда принимается равномерным по длине поперечного диаметра  $d - d$  шпонок (фиг. 11).

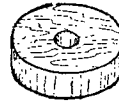
Согласно TV и II распор определяется в предположении  $l = \frac{2d}{3}$  (фиг. 12). Действительное распределение напряжений в сопряжениях на круглых шпонках чрезвычайно сложно, поэтому работа специальных видов шпонок и работа болта на изгиб в расчете учитываются обычно лишь на основании опытных данных. Расчет сопряжений на круглых шпонках производится по той же схеме, как и на призматических шпонках на смятие и скалывание; скрепляющих болтов — на распор. В растянутых сопряжениях на круглых шпонках наибольшую опасность представляет разрушение концевых частей сопрягаемых элементов от скалывания.

а) Дубовая дисковая шпонка (фиг. 13)

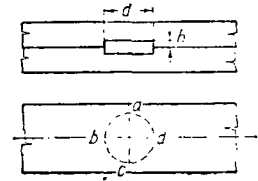
Необходимость погашения распора рабочим металлическим болтом исключает применение

дисковых деревянных шпонок в безметаллических нежелезистых деревянных конструкциях. Большое ослабление рабочих сечений при малой эффективности (в смысле мощности и надежности сопряжения) делает применение дисковой дубовой шпонок в большинстве случаев нецелесообразным.

Усилие  $T$  воспринимается сопротивлением смятию половины поверхности  $(abc)$  шпонок (фиг. 14), врезанной в элемент. Опрокидывающий момент  $M = T \frac{h}{2}$  погашается (фиг. 12) за счет натяжения болта силой  $Q = T \frac{3h_{min}}{2d_{min}}$ .



Фиг. 13



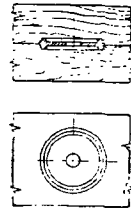
Фиг. 14

Производство работ заключается в следующем.

На элементах конструкции размечаются центры постановки шпонок и засверливаются отверстия сперва для болтов, затем (или одновременно) для шпонок. Шпонки закладываются в процессе сборки конструкции при обязательном непрерывном технадзоре.

б) Чугунная дисковая шпонка (фиг. 15)

Чугунная дисковая шпонка имеет в центре отверстие для пропуска болта. Для уменьшения веса при широком бортовом ранте делается тон-



Фиг. 15



Фиг. 15а

кое днище, причем шпонка имеет в диаметральной разрезе двутавровое сечение. Шпонок такого вида обычно вдавливаются в тесно засверленные гнезда, причем кольцевые поверхности шпонок имеют скошенные грани.

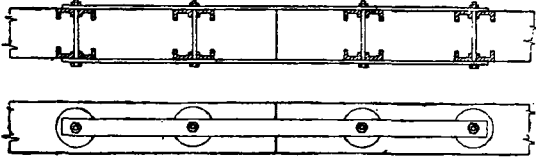
В результате вдавливания шпонка плотно прижимается к стенкам гнезда, и при натяжении элементов вся ее рабочая поверхность включается в работу.

При сборке конструкции после надлежащей разметки просверливаются отверстия для болтов и выемки для шпонок, потом закладываются шпонок и узлы запрессовываются.

Ввиду большого веса и значительной затраты металла возникает опасность влияния температурного гистерезиса, что ставит под сомнение целесообразность широкого применения чугунных дисковых шпонок.

в) Чугунная тарельчатая шпонка (шайба) (фиг. 16)

В отличие от чугунной дисковой шпонки тарельчатая шпонка имеет не двуглавное, а коробчатое диаметрально сечение. Серединое (осевое) отверстие в днище имеет утолщенные края и по размеру должно точно соответствовать диаметру стяжного болта.



Фиг. 16. Стык на тарельчатых шпонках

Применяется она обычно в сочетании с металлическими накладками в растянутых стыках и уалах брусьячатых деревянных конструкций на металлических накладках,

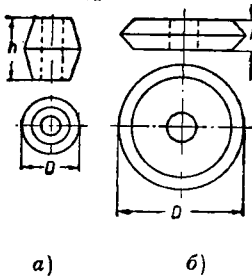
Производство работ заключается в следующем.

По разметке болтовых отверстий в металлических накладках размечаются сквозные болтовые отверстия в сопрягаемых брусках. Эти болтовые отверстия служат центрами для сверления шпоночных гнезд.

г) Конический вкладыш Кюблера (фиг. 17)

Вкладыш Кюблера имеет форму двух усеченных конусов, сложенных основаниями, отливаются монолитным из чугуна и имеет центровое болтовое отверстие. Различают вкладыши двух типов:

- I — при  $D > h$  (фиг. 17, справа);
- II — при  $D < h$  (фиг. 17, слева).



Фиг. 17. Вкладыш Кюблера

Вследствие конической формы вкладыша при работе его возникают дополнительные касательные усилия  $T_2$  (фиг. 18). Опрокидывающий момент уравновешивается двумя удерживающими моментами  $T \frac{h}{2} = Q l_1 + T_2 l_2$  и кроме того сопротивлением изгибу стяжного болта. Определение величины распора весьма затруднительно, и действительное значение его неопределенно.

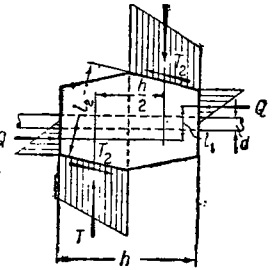
Работа вкладыша типа I приближается к работе обычной шпонки. Устойчивость такого вкладыша определяется удерживающим влиянием распорного момента  $Q l_1$ .

Вкладыш типа II обладает малой устойчивостью, определяемой главным образом работой стяжного болта как нагеля. Вкладыш этого типа относится к промежуточным (между шпонкой и нагелем) видам сопряжений. Расчет его производится по эмпирическим формулам.

Ввиду ничтожного значения поперечного распора вкладыш Кюблера типа II терять признаки шпонки и превращается в элемент, увеличивающий площадь краевого смятия дерева под болтом — нагелем.

Вкладыши Кюблера имеют следующие недостатки: 1) большой вес, вкладышей дает высокий коэффициент расхода металла, 2) выборка конических гнезд значительно сложнее выборки цилиндрических гнезд.

Процесс сборки при вкладышах Кюблера тот же, что и для дисковой шпонки.

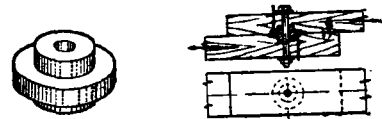


Фиг. 18. Схема работы вкладыша

д) Вкладыш Шпильмана

Вкладыш Шпильмана (фиг. 19) — чугунный монолитный, с отверстием в центре для пропуска болта, по средней окружности снабжен полочкой.

Работа вкладыша Шпильмана аналогична работе дисковой шпонки.



Фиг. 19

При заготовке элементов по засверленным на основании точной разметки болтовым отверстиям выбираются гнезда для полочки шпонки (на глубину, равную половине высоты) и затем — гнезда для самой шпонки. Вкладыш был предложен в Германии в 1926 г., однако широкого распространения не получил, так как никаких ценных преимуществ по сравнению с другими типами шпонок он не имеет.

е) Вкладыш Корбша

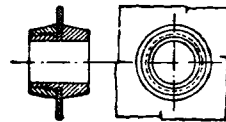
Вкладыш Корбша состоит из двух отдельных полуконов; один из них снабжен отверстием с нарезкой и при заготовке навинчивается на второй полуконов, имеющий соответственный выступ с нарезной поверхностью (фиг. 20).

Между частями шпонки вставляется соединяющая элементы металлическая косынка.

В работе конструкции вкладыш нагружен симметрично относительно плоскости косынки.

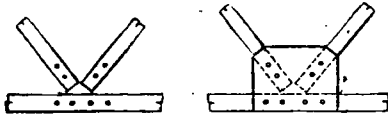
Работа вкладыша аналогична работе заклепки в металлических конструкциях. Усилие  $T$ , передаваемое косынкой, распределяется поровну на обе половины вкладыша. Теоретически сопряжение свободно от распора. Болт расчетной нагрузки не несет и является только стяжным.

После монтажной сборки элементов конструкции на фанерных косынках по общей разметке высверливаются отверстия для болтов. Затем



Фиг. 20

выбираются гнезда для вкладышей и по фанерным косынкам сверлятся отверстия в металлических косынках. При сборке сначала укладывается половина парных деревянных элементов и в них закладываются половина вкладышей (фиг. 21, слева). Далее сверху укладываются косынки и навивчиваются вторые части вкладышей (фиг. 21, справа). Наконец закладываются остальные деревянные элементы, и вся конструкция скрепляется болтами, проходящими через центры вкладышей.



Фиг. 21. Схема сборки узла

Сложность изготовления и значительный расход металла затрудняют применение вкладышей Корбша, хотя они и дают сборно-разборное сопряжение.

#### 4. Гладкие кольцевые шпонки

##### 1) Неразрезные кольцевые шпонки

###### а) Общие сведения

По сравнению со сплошными дисковыми шпонками кольцевые шпонки имеют следующие преимущества:

- 1) увеличивают рабочее сопротивление шпоночного сопряжения благодаря включению в работу «сердечника»;
- 2) уменьшают ослабление элементов;
- 3) уменьшают трудоемкость заготовки гнезд благодаря снижению объема высверливаемой древесины;
- 4) уменьшают вес металлических частей.

Неразрезные кольцевые шпонки по характеру работы аналогичны круглым сплошным шпонкам. Жесткое кольцо, не меняющее своей формы ни в случае неточной заготовки элементов, ни при усушке древесины, требует избыточной ширины сверления кольцевой дорожки для покрытия неизбежных неточностей. Внешняя и внутренняя части кольца включаются в работу неравномерно в зависимости от того, насколько тесно или просторно засверлены гнезда. При этом край либо сердечник заготовленного элемента остаются недогруженными за счет перегруженности, угрожающей преждевременным разрушением остальной части сопряжения.

Рекомендуемые иностранными фирмами нормативные данные большей частью основаны на результатах лабораторных исследований, проведенных над сжатými образцами, и потому отнюдь не гарантируют необходимой надежности сопряжения растянутых элементов в производственных условиях.

Разрушение растянутых сопряжений на гладких (врезных) кольцевых шпонках происходит от скалывания и сложного разрыва. Ввиду малой надежности даже при тщательном производстве работ неразрезные кольцевые шпонки не могут быть рекомендованы в деревянных конструкциях.

##### б) Тарельчатые шпонки системы Кристоф и Унмак

Тарельчатые шпонки этого типа отливаются из чугуна (фиг. 22) и снабжаются для большей жесткости внутренней полочкой (диафрагмой).

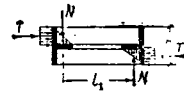
Опрокидывающий шпоночный момент  $M = T \frac{h}{2}$  погашается натяжением болта, обеспечивающим поперечный нажим на полочки (диафрагмы) и края шпонки (фиг. 23). В расчете принимается:

$$Q_0 = -\frac{T \frac{h}{2}}{\frac{3}{4} d} = -\frac{2}{3} T \frac{h}{d}$$

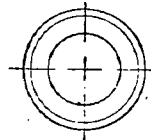
Скалываемая площадь, теоретически равная сумме площадей сердечника и эквивалентной ему площади концевой края, фактически, как правило, вступает в работу не одновременно. В работе растянутых сопряжений должна учитываться работа только концевой края или только сердечника.



Фиг. 22



Фиг. 23. Схема работы шпонки



При больших диаметрах тарельчатая шпонка обладает значительной мощностью и может применяться для соединения брусков большого сечения. Шпонка довольно массивна и в применении дает высокий коэффициент расхода металла. Тарельчатая шпонка требует выбора специального отверстия не только для кольца, но и для диафрагмы, что существенно затрудняет ее применение.

Фирма Кристоф и Унмак предлагает следующий сортament шпонок с соответствующими допускаемыми усилиями (табл. 1).

Таблица 1

Сортament шпонок фирмы Кристоф и Унмак

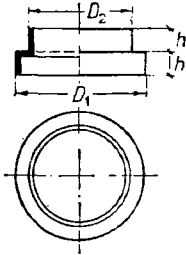
| Размеры в мм |     |    |    | h    | δ   | Вес в кг | Ø болта | Допускаемая нагрузка |                 |
|--------------|-----|----|----|------|-----|----------|---------|----------------------|-----------------|
| D            | d   | B  | b  |      |     |          |         | вдоль волокон        | поперек волокон |
| 80           | 70  | 35 | 20 | 15   | 5   | 0,30     | 10      | 1 600                | 625             |
| 100          | 90  | 30 | 25 | 15   | 5   | 0,48     | 10      | 2 025                | 957             |
| 120          | 110 | 25 | 30 | 15   | 5   | 0,69     | 10      | 2 525                | 1 361           |
| 140          | 129 | 40 | 24 | 15,5 | 5,5 | 0,92     | 13      | 3 130                | 1 063           |
| 169          | 148 | 45 | 29 | 15,5 | 6   | 1,32     | 13      | 3 810                | 2 340           |
| 180          | 168 | 50 | 44 | 16   | 6   | 1,66     | 13      | 4 575                | 2 950           |
| 200          | 186 | 55 | 48 | 16   | 7   | 2,23     | 16      | 5 425                | 3 590           |
| 225          | 211 | 60 | 53 | 20   | 7   | 2,86     | 16      | 6 485                | 4 437           |
| 250          | 234 | 65 | 57 | 20   | 8   | 3,84     | 16      | 7 655                | 5 323           |

##### в) Зетобразная шпонка системы Гензеля

Зетобразная шпонка состоит из двух колец разных диаметров, соединенных плоской полочкой (фиг. 24).

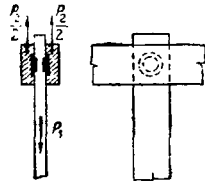
Помимо жесткости (хрупкости) сопряжения в растянутых стыках и узлах недостатком этого типа шпонок является сложность изготовления конструкции вследствие необходимости фрезования желобков разных диаметров и выборки отверстий для полочки.

Некоторое применение шпонка Гензеля находит при сопряжении деревянных элементов с металлическими. В этом случае часть шпонки с меньшим диаметром (весьма малых размеров) вводится в металлическую накладку, часть же с большим диаметром — в сопрягаемый элемент.



Фиг. 24. Сечение шпонки

При сопряжении элементов под углом шпонка врезается большим диаметром в элемент с худшими условиями работы (с меньшим допускаемым напряжением). Этим достигается уравнение допустимых усилий на обе половины шпонки при



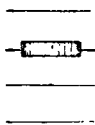
Фиг. 25

минимальном ослаблении каждого из элементов (фиг. 25).

Для достижения  $[p_1] = [p]$  соотношение диаметров полушпонок подбирается из условия:  $[p_c]_1 D_1 h = [p_c]_2 D_2 h$ .

г) Кольцевая шпонка Крюгера

Шпонка Крюгера представляет собой замкнутое кольцо, выгнутое из полосового железа (фиг. 26).



Фиг. 26



Фиг. 27

Большая, чем в чугунных литых шпонках, гибкость кольца все же недостаточна для включения в работу всей поверхности обеих ветвей его. Поэтому при неточной заготовке отверстий изменение формы кольца не может обеспечить параллельной работы сердечника и периферии и предотвратить последовательное скалывание их, особенно в растянутых стыках и узлах.

В строительстве эта шпонка была вытеснена более надежной и экономичной кольцевой шпонкой Тухшерера.

д) Кольцевая шпонка Карлуса

Шпонка Карлуса представляет собой замкнутое кольцо из полосового железа, имеющее симметрично вдавленные складки (фиг. 27).

Устройством складки достигается некоторая эластичность шпонки, что должно улучшить ее работу по сравнению с предыдущим типом. Фактически незначительное увеличение эластичности не оправдывает затруднений, связанных с устройством складок и выемок для них.

е) Ступенчатая шпонка Стефана

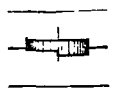
Шпонка Стефана представляет собой замкнутое кольцо из полосового железа переменной ширины (фиг. 28 и 29).

По идее ступенчатая шпонка Стефана должна компенсировать в узловых сопряжениях увеличенной шириной железного кольца снижение допускаемого напряжения смятия под углом (аналогично увеличенному диаметру шпонки Гензеля).

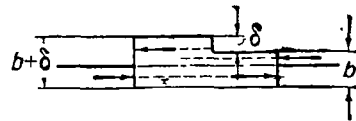
Однако незначительное повышение сопротивления смятию не оправдывает существенного усложнения сопряжения. Увеличение высоты шпонки приводит к увеличению опрокидывающего момента.

При заготовке кольцевые дорожки вырезаются различной глубины, соответствующей ширине кольца.

Ступенчатое высверливание дорожек трудно осуществимо и во всяком случае дорого и сложно в массовом строительстве.



Фиг. 28

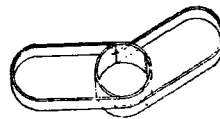


Фиг. 29

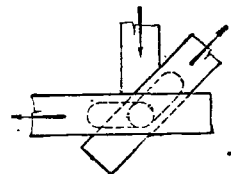
Шпонка Стефана применялась в СССР.

ж) Шпонка Квятковского

Шпонка Квятковского делается из полосового железа специальной формы и изготавливается индивидуально в зависимости от угла и мощности узлового сопряжения (фиг. 30 и 31). Полосовое железо имеет переменную высоту и, сопрягаясь



Фиг. 30. Сопряжение под углом



Фиг. 31

в специально выточенном замке, должно образовать мощное узловое сопряжение, заменяя два ряда кольцевых шпонок.

Шпонка работает аналогично неразрезным кольцевым шпонкам, причем благодаря большой длине дает лишь незначительный распор. Разрез в этой шпонке имеет целью включение в работу всех трех рабочих поверхностей шпонки. Однако вследствие неизбежной неравномерности распределения скалывающих напряжений значительное увеличение длины скалываемого сердеч-

ника не приводит к пропорциональному увеличению его сопряжения скальванию.

Испытания сопряжений на шпонках Квятковского дали весьма удовлетворительный результат, подтверждаемый благополучной работой осуществленных в СССР мостовых ферм на шпоночных сопряжениях этого типа. Для окончательного суждения о шпонках Квятковского нужны дополнительные лабораторные исследования.

При заготовке помимо кольцевой дорожки в каждой доске прорезается отдельно удлиненное гнездо, в каждое из которых закладывается по половине шпонки.

Сложные и трудоемкие процессы изготовления шпонок Квятковского и гнезд для них служат препятствием к широкому применению сопряжений этого типа.

## 2) Разрезные кольцевые шпонки

### а) Общие сведения

Поскольку наличие разреза обеспечивает возможность растяжения или сжатия кольца в соответствии с величиной взаимного смещения кольцевых дорожек, разрезная шпонка при одинаковых размерах противопоставленных кольцевых желобков одинаково передает усилие как передним, так и задним полукольцом.

Согласно лабораторным исследованиям наличие разреза в кольце шпонки увеличивает ее мощность по сравнению с неразрезным кольцом при направлении усилия вдоль волокон примерно в 1,6 раза.

Распор, возникающий в работе разрезных кольцевых шпонок, тоже воспринимается стяжным болтом, располагаемым, как правило, в центре шпонки. В однорядовых растянутых стыках даже при избыточном сечении крайних элементов необходима постановка добавочных концевых болтов для погашения изгибающих моментов.

### б) Кольцевая шпонка Тухшерера

Шпонка Тухшерера представляет собой простое кольцо из полосового железа с незамкнутым стыком на радиусе, перпендикулярном к направлению действующего усилия.

Кольцевая шпонка Тухшерера — лучшая из гладко-кольцевых шпонок (не считая ромбической кольцевой шпонки Ю. М. Иванова) — все же обладает присущими всем им недостатками.

### в) Шпонка Дехалля

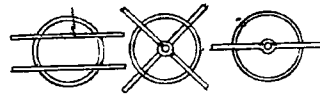
Шпонка Дехалля представляет собой замкнутое кольцо из полосового железа с планками, врезанными в кольцо наполовину его высоты (фиг. 32 и 33). Иногда кольцо бывает разрезано.

По работе шпонка Дехалля аналогична шпонке Гензеля. В шпонке Дехалля вместо увеличения диаметра установлены одна или две планки, врезаемые в элемент, работающий под большим углом смятия в целях увеличения площади смятия дерева.

Перерезание сердечника желобками для планок сильно ослабляет его и фактически почти

выключает из работы. Разрушение сопряжения происходит вследствие последовательного скальвания частей сердечника и краев сопрягаемых элементов.

Весьма трудоемкая заготовка элементов, требующая большой тщательности выполнения и трудно поддающаяся механизации, не оправды-



Фиг. 32



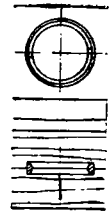
Фиг. 33

вается незначительным увеличением мощности сопряжения.

### г) Американская разрезная шпонка

Американская шпонка состоит из двух самостоятельных полуколец специального профиля, соединяемых прямым замком (фиг. 34). Она недавно предложена в США и в настоящее время разрабатывается.

Для установки шпонки в сопрягаемых брусках выбираются отверстия, куда затем и загоняется шпонка. Заклинивание краев шпонки обеспечивает плотное примыкание к стенкам гнезда.



Фиг. 34

## 5. Зубчато-кольцевые шпонки

### а) Общие сведения

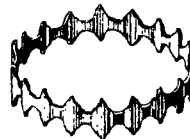
Наличие большого количества острых зубьев обеспечивает зубчато-кольцевым шпонкам плотное сопряжение с древесиной, простоту производства работ (вдавливание шпонок без предварительного сверления гнезд) и большую надежность в работе, свойственную сопряжениям, разрушение которых происходит от смятия. Сопряжение на зубчато-кольцевых шпонках дает большую площадь диаграммы работы, так как разрушение происходит не от скальвания, а от смятия древесины и деформации самой шпонки.

В работе зубчато-кольцевые шпонки обладают большой мощностью, почти вовсе не зависящей от угла между направлениями усилия и волокон.

### б) Шпонки «Аллигатор»

Шпонки «Аллигатор» представляют собой замкнутое кольцо из гофрированной стали толщиной 1,2—1,4 мм, вырезанной с обеих сторон острыми фестонами (фиг. 35).

Устойчивость шпонки обеспечивается цилиндрической жесткостью кольца, сильно ослабленного вырезами фестонов. Это ограничивает диаметр кольца размерами 160 мм. Размеры шайб и болтов определяются не столько распором шпонки,



Фиг. 35

сколько условиями преодоления упругого отпора волокон дерева при вдавливании шпонки; величина их нормируется эмпирически (табл. 2):

<sup>1</sup> Более подробно см. «Гладкая кольцевая шпонка», стр. 88.

Таблица 2

Сортамент шпенок «Аллигатор»

| Диаметр<br>в мм | Вес<br>в кг | Диаметр<br>болта<br>в мм | Ширина<br>деревянного<br>элемента<br>в мм | Размер<br>шайбы<br>в мм | Допускаемая<br>нагрузка<br>в кг |
|-----------------|-------------|--------------------------|---|-------------------------|---------------------------------|
| 54              | 23,9        | 12,7                     | 76  | 50×50×6                 | 700                             |
| 70              | 31,1        | 16                       | 102                                       | 65×65×6                 | 1 000                           |
| 95              | 46,8        | 19                       | 127                                       | 75×75×8                 | 1 500                           |
| 114             | 51,6        | 19                       | 153                                       | 90×90×10                | 1 700                           |
| 140             | 71,2        | 22                       | 178                                       | 100×100×10              | 2 500                           |
| 159             | 85,4        | 23,5                     | 203                                       | 115×115×10              | 3 000                           |

В собранной предварительно конструкции (или путем разметки) в досках просверливаются отверстия для болтов, далее элементы конструкции накладываются с прокладкой шпенок на центровые болты и запрессовываются.

в) Шпонка системы ЦНИПС (инж. Хорькова)<sup>1</sup>

Эта шпонка (фиг. 36) представляет собой зажатое кольцо из крупнофрезированной стальной ленты с предварительно выштампованными зубьями специальной формы.

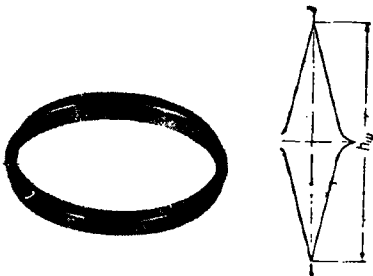


Фиг. 36

Шпонка ЦНИПС должна стать одной из основных крепей для сопряжения узлов многослойных дощатых конструкций во всех случаях, когда возможно применение металла и не требуется достижения разборности конструкции.

г) Ромбическая кольцевая шпонка (инж. Иванова)

Ромбическая кольцевая шпонка представляет собой разрезное кольцо из прокатной стали ромбического профиля с острыми краями (фиг. 37).



Фиг. 37

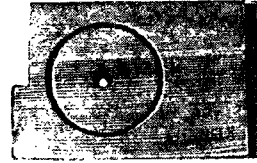
Шпонка применима не только для сборных, но и для разборных деревянных конструкций.

При передаче усилия полностью используется вся поверхность шпонки, так как в результате

<sup>1</sup> Более подробно см. «Зубчато-кольцевая шпонка», стр. 96.

вдавливании шпонка клиновидного профиля плотно прилегает к стенкам гнезда: кольцо же имеет разрез, который обеспечивает плотность сопряжения в случае поперечной усушки дерева.

Применением ромбического профиля достигается уплотнение древесины при вдавливании кольца, что создает плотность гнезда, обеспечивающую отсутствие начальных смещений при приложении усилия.



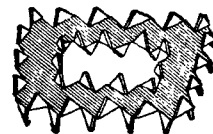
Фиг. 38

Сборка конструкции производится так же, как и при наличии зубчатых шпенок других типов. При разборке конструкции шпонки могут быть вынуты без повреждения гнезда (фиг. 38).

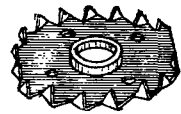
## 6. Когтевые шпонки

### 1) Шпонка «Бульдог» (инж. Теодорсена)

Когтевые шпонки «Бульдог» представляют собой круглые, квадратные и овальные пластинки из тонкой (1—1,2-мм) стали с когтями треугольной формы, отогнутыми перпендикулярно плоскости пластинки (фиг. 39 и 40). Шпонки «Бульдог» изготавливаются с односторонним и двухсторонним отгибом зубьев: первые — для передачи усилий от дерева к металлической накладке; вторые — для передачи усилий от дерева к дереву, как в шпоночных сопряжениях.



Фиг. 39



Фиг. 40

Двухсторонний «Бульдог» работает аналогично зубчато-кольцевой шпонке и не имеет перед ней никаких преимуществ. Он обладает меньшей мощностью, сильнее зависит от возможной усушки досок и требует большего количества металла.

Напротив, односторонний «Бульдог» не может быть заменен кольцевой шпонкой.

При хорошем запрессовывании в дерево каждый зубец «Бульдога» работает самостоятельно, как консоль, защемленная в жесткой пластинке (шайбе).

В односторонних «Бульдогах», применяемых преимущественно в сборно-разборных деревянных конструкциях, усилие передается через срез болта, плотно проходящего сквозь отверстие в середине шпонки. С помощью зубьев «Бульдога»

Таблица 3

Сортамент шпенок «Бульдог»

| «Бульдог» размер в мм                 | 50 круглый  | 75 круглый  | 95 круглый  | 100 × 100 квадратный | 130 × 130 квадратный | 95 круглый односторонний |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| Болтовое отверстие в мм               | 17          | 23          | 36          | 40 × 40              | 52 × 52              | 5/8 — 3/4 — 7/8 1        |
| Наименьшая расстановка в мм . . . . . | 70          | 110         | 140         | 170                  | 230                  | 140                      |
| Диаметр болта в мм . . . . .          | 10 12 16    | 10 12 16    | 12 16 20    | 12 16 20 26          | 20 22 26 32          | —                        |
| Наибольшая нагрузка в т . . . . .     | 0,2 0,3 0,5 | 0,5 0,7 0,8 | 0,9 1,0 1,2 | 1,3 1,5 1,7 2,0      | 2,3 2,5 3,0 3,5      | 1,2                      |

усилие распределяется на большую поверхность смятия древесины, что обеспечивает достаточную безопасность сопряжения в отношении скалывания.

Зубья «Бульдога» страдают следующими недостатками:

1) незначительность размеров зубьев при усущке дерева приводит к выходу их из гнезд, что весьма снижает мощность сопряжения;

2) тупая форма зубьев (прямоугольный треугольник) вызывает смятие волокон, а не переизывание их при вдавливании «Бульдога».

Сортамент «Бульдогов» и допустимые для них усилия приведены в табл. 3.

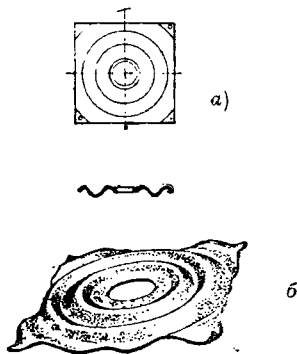
Сборка конструкций на «Бульдогах» производится аналогично сборке конструкций на зубчато-кольцевых шпонках.

Для затяжки узлов применяется специальный ключ. При одностороннем отгибе зубьев вдавливание шайб «Бульдог» производится специальными прессами.

В сборно-разборных стержневых конструкциях (при применении односторонних шайб «Бульдог») сборка может производиться простым сбаличиванием узлов, «окованных» (путем предварительного запрессовывания «Бульдогов») когтевой шайбой.

## 2) Шпонка «Буфф» (инж. Форсель)

Шпонка «Буфф» представляет собою квадратную пластинку из тонкой стали с кольцевым двух-



Фиг. 41

сторонним гофром. В центре пластинки имеется отверстие для болта (фиг. 41).

При запрессовывании шпонки гофр ее вдавливается в древесину, не перерезая волокон.

Болт плотно примыкает к стенкам отверстия в шпонке.

При работе шпонки усилие, передающееся через гофр, вызывает растяжение болта. При разрушении сопряжения происходит смятие древесины под гофром шпонки и заклинивание ее между досками, причем болт начинает работать на срез.

Сортамент шпенок «Буфф» и допускаемые на них усилия приведены в табл. 4.

Таблица 4

Сортамент шпенок «Буфф»

| Болт в дюйм | Шпонка в мм | Ш а й б а |         | Усилие на 1 шпонку в т | Вес шпонки в кг |
|-------------|-------------|-----------|---------|------------------------|-----------------|
|             |             | размер    | толщина |                        |                 |
| 1/2         | 75 × 75     | 50 × 50   | 4,5     | 0,75—1,00              | 0,061           |
| 5/8         | 85 × 85     | 65 × 65   | 6,5     | 0,90—1,25              | 0,086           |
| 3/4         | 85 × 85     | 75 × 75   | 1,0     | 1,00—1,50              | 0,086           |
| 7/8         | 100 × 100   | 90 × 90   | 8,0     | 1,50—2,25              | 0,120           |
| 1           | 115 × 115   | 100 × 100 | 9,0     | 2,00—3,00              | 0,186           |

Толщина металла 2,0—4,5 мм.

В некоторых случаях при установке шпонки применяется предварительное выбирание желобков для более полного заглубления гофра. Шпонки «Буфф» еще более, чем шайбы «Бульдог», нуждаются в мощной стяжке узла болтом; размеры и жесткость внешних шайб и самого болта должны быть достаточными для того, чтобы обеспечить полное вдавливание шайб «Буфф» в древесину сопрягаемых досок без заметного вдавливания внешних шайб и без вытяжки болта. Полученное в сборке обжатие шайб «Буфф» совершенно исчезает, если применен сырой или полусухой лес.

Использование шпенок «Буфф» у нас ограничено затруднительностью достижения плотной стяжки узлов и необходимостью применения значительного количества специальной штампованной стали и тщательно высушенного леса.

В небольшом количестве шпонки «Буфф» применялись в Германии и у нас на Днепрострое, где они показали плохие результаты в работе с недостаточно сухим лесом.

## 3) Скоба Гетцера

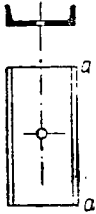
Скоба Гетцера состоит из двух пластинок с боковыми отверстиями и ребрами, отогнутыми перпендикулярно плоскости пластинки (фиг. 42 и 43).



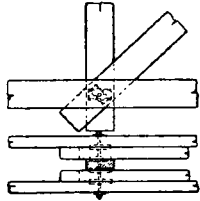
Усилие в сопряжении воспринимается ребрами скобы и передается смятием болтового отверстия на болт, работающий на срез по плоскости соприкосновения смежных скоб.

Сборка конструкции производится следующим образом.

На соединяемых элементах размечаются места постановки скоб и выбираются гнезда для ребер скоб.



Фиг. 42

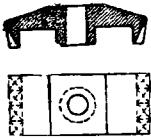


Фиг. 43

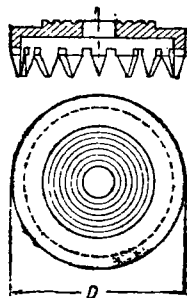
После закладки скоб на каждой из соединяемых досок производится стяжка узла. При этом между досками элементов остается расстояние, равное двум толщинам пластинки. Иногда для пластинки скобы также выбираются гнезда, тогда плоскости элементов сходятся вплотную. После установки скоб болтовые отверстия (предварительно заготовленные преуменьшенного размера) развертываются для обеспечения плотного примыкания стержня болта к пластинкам всех сопрягаемых скоб.

#### 4) Вкладыши Грейма

В процессе своего развития форма вкладышей и когтевых скоб Грейма претерпела ряд изменений и упрощений. Первоначально вкладыш Грейма имел вид скобы, аналогичной скобе Гетцера, но вместо сплошных ребер имеющей зубья (фиг. 44). В



Фиг. 44. Шайбы Грейма (варианты)



Фиг. 45

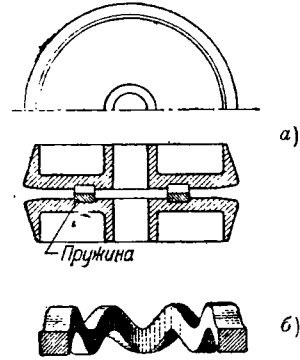
дальнейшем вкладыш получил форму чугунных парных дисков (фиг. 45), снабженных зубьями для более плотного сопряжения с деревом. Между собой диски соединяются системой пазов и валиков. В первоначальных вариантах вкладыша для сопряжения дисков между собой применялась пружина, устанавливаемая в специальные пазы, выбранные в шпонках (фиг. 46).

Для соединения с металлическими накладками применяются односторонний вкладыш Грейма (фиг. 47) со втулкой в центре диска, обеспечивающей передачу усилия со вкладыша на накладку (подобно тарельчатой шпонке и односторонней шайбе «Бульдог»). В этом последнем виде вкладыш Грейма применяется в шарнирных узлах сборных деревянных конструкций Сименс-Баунон (фиг. 48 и 49).

Накладки шарнира, служащие для соединения всех элементов узла, соединяются с последними

при помощи односторонних вкладышей Грейма, чем и достигается полная разборность сопряжения.

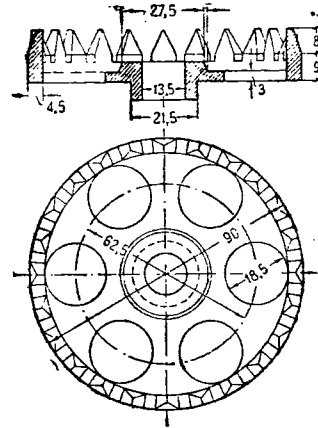
Вкладыш Грейма в виде скобы работает аналогично скобе Гетцера. У вкладыша же в виде



Фиг. 46

дисков нижняя сплошная часть вкладыша работает как тарельчатая шпонка. Некоторая доля усилия воспринимается зубьями.

Сопряжение на вкладышах Грейма довольно мощно и жестко, но врезка вкладыша и закола-

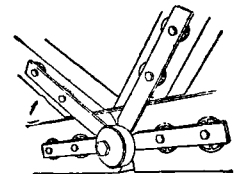


Фиг. 47

чивание зубьев сильно ослабляют сечение рабочих элементов и в работе, особенно при многорядовой постановке, способствуют продольному раскалыванию их. При помощи системы пазов и валиков, расположенных на тыльных сторонах дисков и входящих друг в друга, усилие передается с одной половины вкладыша на другую. При плотном смыкании пазов и валиков болт нужен только для стяжки соединения.

При усушке сопрягаемых досок или брусьев диски раздвигаются и валики выходят из пазов. В этом случае болт начинает работать на срез и изгиб.

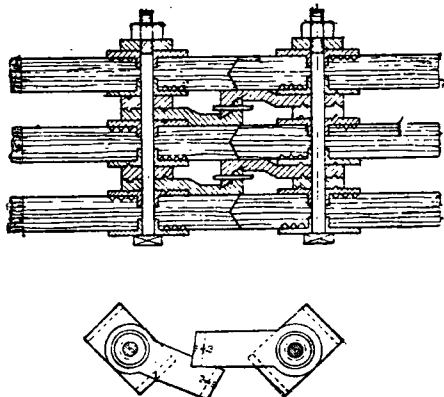
Односторонний вкладыш Грейма работает аналогично тарельчатой шайбе с той разницей,



Фиг. 48. (Der Bauling). 1929 г.

что на срез между накладкой и вкладышем работает втулка вкладыша.

В практике германского строительства точность заготовки гнезд в деревянных частях обеспечивала большую плотность сопряжений на вкладышах Грейма. Сверление болтовых отверстий шпуночных гнезд производилось с точностью, допускающей даже многорядовую постановку весьма точно заготовленных металлических литых вкладышей. По болтовым отверстиям производилось сверление отверстий для дисковых частей вкладышей. Вдавливание зубцов производилось (без предварительного рассверливания гнезд) путем заколачивания кувалдой через прокладку. Для больших размеров вкладышей под зубья засверливались отверстия наполовину необходимой глубины и в заготовленные отверстия забивались вкладыши.



Фиг. 49. Накладки Грейма

В случае применения для неразборных сооружений вкладыш Грейма, требующий довольно значительного количества металла в сложном и точном литье и крайне точной разметки и точного сверления гнезд в деревянной заготовке, не имеет никаких преимуществ перед зубчатыми ромбически-кольцевыми шпонками.

Применение вкладышей Грейма при условии высокой степени индустриализации производства работ по типу Сименс-Баунион представляет интерес для сборно-разборных конструкций.

### 5) Стыковые накладки системы Грейма (фиг. 49)

Детальных сведений о работе накладок Грейма нет. Накладки снабжены зубьями того же типа, что и вкладыши системы Грейма, и обладают теми же особенностями в работе.

Сложность изготовления самой накладки и сложность заготовки деревянных элементов, повидимому, не оправдывается какими-либо специальными преимуществами этого типа сопряжения, если не считать его разборность.

## ЛИТЕРАТУРА

### А. Русская литература

1. Бронек, Деревянные конструкции, М. 1930 г.
2. Гестеши, Деревянные сооружения, М. 1931 г.
3. Керстен, Современные инженерные деревянные конструкции, М. 1932 г.
4. Ферстер, Справочник инженера-строителя, М. 1930 г.
5. Кузнецов А. В., Узловые сопряжения деревянных ферм, 1932 г.
6. Карлсен Г. Г., Исследование кольцевой шпонки Тухшерера, М. 1925 г.
7. Патон Е. О., Деревянные мосты, Киев 1921 г.
8. Патон Е. О., Клях Е. А. и др., Кольцевые соединения, М. 1932 г.
9. Иванов В. Ф., Деревянные конструкции гражданских сооружений, М. 1933 г.
10. Журнал «Строитель», М. 1930—1933 гг.
11. Журнал «Строительная промышленность», М. 1932—1933 гг.

### Б. Иностранная литература

1. Jackson, Ingenieur-Holzbau, 1921.
2. Frick-Knoll, Die Konstruktion von Hochbauten.
3. Daub, Hochbaukunde.
4. Seitz, Grundlagen des Ingenieurholzbau.
5. Schächterle, Ingenieurholzbauten bei den R. E. D. Stuttgart.
6. Zeitschrift: «Bautechnik», 1928—1933.
7. » «Bauwelt», 1928—1933.
8. » «Bauingenieur», 1927—1933.
9. » «Bauezeitung», 1929.
10. » «Eng. News-Record», 1932—1933.
11. » «VDI», 1929—1933.
12. » «Schweizerische Bauzeitung», 1930—1933.
13. Warberot, Constructions civiles, 1930.

Инж. Ю. М. ИВАНОВ

## V. ГЛАДКО-КОЛЬЦЕВАЯ ШПОНКА

### 1. Общие сведения

Гладко-кольцевая шпонка получила широкое распространение в Германии (с 1913 г.), где она известна под названием «шпонка Тухшерера».

В СССР кольцевые шпонки Тухшерера были впервые применены в 1923 г. для конструкций павильона Госсельсклада на Всесоюзной сельскохозяйственной выставке.

Опыт применения гладко-кольцевых шпонок в СССР привел к значительному числу аварий. Хотя основной причиной их по большей части было низкое качество производства работ и применявшихся лесоматериалов.

Основным недостатком гладко-кольцевой шпонки является высокая жесткость работы преимущественно на скалывание, приводящая при наличии рыхлых деформаций к весьма круп-

ным перенапряжениям и в результате — к значительному снижению запаса прочности. Равномерная работа соединений может быть достигнута лишь при высокой точности изготовления, тщательной разметкой и центрировкой при сверлении кольцевых дорожек. Наличие на строительстве высококвалифицированного технического надзора, опытных кадров, необходимого механизированного оборудования и высококачественного лесоматериала является непременным условием при применении конструкций на гладко-кольцевых шпонках.

При условии высококачественного выполнения конструкции на гладко-кольцевых шпонках обладают следующими достоинствами:

1) дают незначительную величину пластических деформаций и не дают провисания с течением времени;

2) являются сборно-разборными и допускают предельно расчлененный процесс изготовления; при наличии надлежащего оборудования возможны широкая механизация работ по гнутью колец и высверливанию дорожек и централизация изготовления элементов конструкций, сборка которых может производиться на месте без шаблона как в горизонтальном, так и в вертикальном положении;

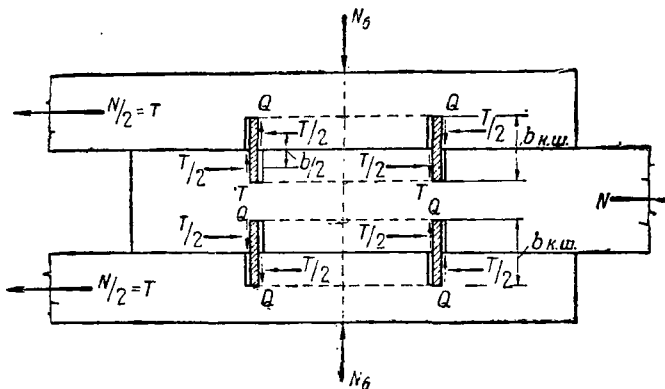
3) экономичны как по весу древесины (в среднем для покрытий коэффициент использования сечения — от 0,7 до 0,8,  $k_{ср}$  от 3,2 до 4,5) и металла (от 3,5 до 6%), так и по невысокой стоимости изготовления благодаря механизации производства работ;

4) позволяют точно центрировать угловые соединения и воспринимают усилия независимо от их знака (при статическом действии нагрузки).

Являясь мощным соединением при работе вдоль волокон, гладко-кольцевая шпонка требует однако большого снижения допускаемого напряжения при работе под углом, что ограничивает рациональные углы примыкания элементов пределами от  $0^\circ$  до  $45^\circ$ .

При этом на каждой половине кольца происходит передача приблизительно половины усилия и каждое полукольцо работает как криволинейная шпонка.

В результате в разрезном кольце в передаче усилия участвуют теоретически вдвое большие по площади участки соединяемых элементов, чем в замкнутом кольце, почему разрезное коль-



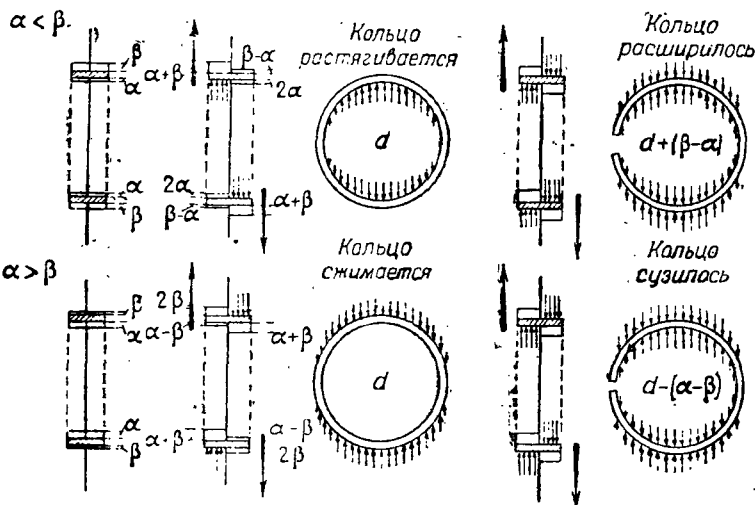
Фиг. 2. Схема действия сил на кольцевую шпонку

## 2. Работа гладко-кольцевых шпонок под действием усилий

### 1) Различие в работе разрезного и замкнутого кольца

Растяжение или сжатие замкнутого кольца зависит не от направления действующего в соединении усилия (растяжение, сжатие), а от со-

отношения величин смещений  $a$  и  $\beta$ , указанных на схеме фиг. 1, включающих как прозор между кольцом и стенками дорожки, так и упругие и неупругие деформации последних.



Фиг. 1. Схема работы замкнутого и разрезного кольца

отношения величин смещений  $a$  и  $\beta$ , указанных на схеме фиг. 1, включающих как прозор между кольцом и стенками дорожки, так и упругие и неупругие деформации последних.

Диаметр разрезного кольца, также в зависимости от соотношения величины смещений  $a$  и  $\beta$ , уменьшается или увеличивается до тех пор, пока кольцо не будет зажато в кольцевых дорожках соединяемых элементов (фиг. 1).

### 2) Работа кольца как шпонки

Полный опрокидывающий момент  $2M_1$  складывается из опрокидывающих моментов на каждом полукольце (фиг. 2):

$$M_1 = \frac{T}{2} \cdot \frac{b}{2}; \quad (1)$$

этом момент погашается трением на поверхностях смятия и работой стяжного болта.

Назначение болта, плотно стягивающего соединяемые элементы, — улучшить работу на скалывание, осложняемое отдираньем волокон вследствие наличия сил трения.

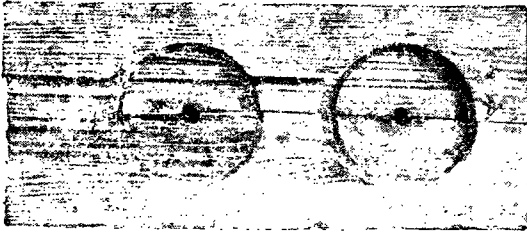
### 3) Запас прочности и характер разрушения соединений

Запас прочности кольцевых соединений в существенной мере зависит от качества выполнения. При соблюдении указанных ниже требований, обеспечивающих необходимую точность изготовления, при испытании двухрядовых стыков был получен коэффициент запаса около 2,4 (по отношению к  $[n_c] = 80 \text{ кг/см}^2$ ).

Работа одиорядовых растянутых стыков сопровождается отгибом концов наружных накладок вследствие значительного влияния дополнительного момента и, как показали испытания, является довольно неравномерной.

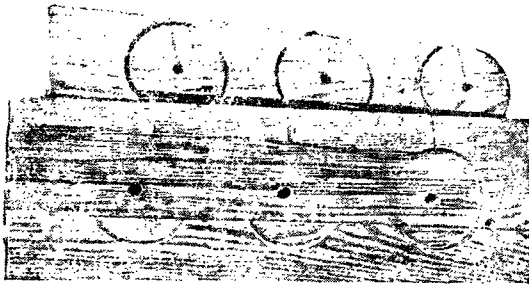
Возможное снижение коэффициента запаса в одиорядовых растянутых стыках учитывается коэффициентом уменьшения допускаемого напряжения 0,8, введенном в примечании к § 107 ТУ и Н.

Характер разрушения растянутых соединений зависит от толщины соединяемых элементов. При большой толщине доски (фиг. 3 и 4) разрушение происходит от чистого скалывания, при малой толщине ее — от скалывания с разрывом части волокон или так называемого «выкалывания средней части доски» (фиг. 5 и 6).



Фиг. 3. Разрушение при растяжении от чистого скалывания

При работе на сжатие кольцевое соединение имеет повышенный запас прочности по сравнению с растянутым стыком вследствие более равномерного распределения скалывающих напряжений и невозможности скалывания крайнего участка, соответствующего так называемому «концу доски» в растянутом соединении.

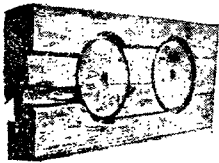


Фиг. 4. Разрушение при растяжении от чистого скалывания

### 3. Расчетные данные и сортамент шпонок

Допускаемое на кольцо усилие определяется по смятию на некоторой условной площади, равной произведению ширины кольца  $b_{к.ш}$  на внутренний диаметр его  $d_0$  по формуле:

$$T_{к.ш} = b_{к.ш} d_0 [n_c]_{\sigma} \quad (2)$$



Фиг. 5. Разрушение при растяжении от выкалывания средней части доски

где  $[n_c]_{\sigma}$  принимается в зависимости от угла смятия.

Расчет необходимого числа и диаметра кольцевых шпонок производится по графикам допускаемых усилий. На фиг. 7 и 8 приведены графики, составленные для воздушно-сухой сосны и дуба.

Размеры кольца берутся по нормальному сортаменту из табл. 1.

Ширина его  $b_{к.ш}$  должна быть не более  $0,20 d_0$  и не менее 2 см.

В одной и той же конструкции все кольца одного диаметра должны иметь одинаковую ширину.

Врезка колец в соединяемые части на различную глубину не разрешается.

Разрез кольца делается прямой.

Ослабление сечения одним кольцом принимается равным произведению наружного диаметра кольца на половину его ширины по формуле:

$$F_{осл} = \frac{b_{к.ш}}{2} (d_0 + 2c_{к.ш}) \quad (3)$$

В присоединении растянутых элементов расчетное усилие, действующее в ослабленном сечении, принимается равным полному усилию элемента, а в присоединении сжатых элементов — полному усилию, уменьшенному на величину половины усилия, воспринимаемого кольцами, ослабляющими опасное сечение.

При расчете соединений растянутых элементов в соответствии с указанной выше возможной деформацией разрушения необходима дополнительная проверка толщины доски на «выкалывание средней части» по формуле (фиг. 10—11)

$$c \geq \frac{320 d_0 b_{к.ш} - 9,42 d_0^2 + 72 a (b_{к.ш} + 0,2)}{24 (s_1 + s_2) + 110 (d_0 - d_0' - 0,3)} + \frac{110 (b_{к.ш} + 0,2) (d_0 - d_0' - 0,3)}{24 (s_1 + s_2) + 110 (d_0 - d_0' - 0,3)}$$



Фиг. 6. Разрушение при растяжении от выкалывания средней части доски

Указанная проверка может быть опущена, если толщина доски более приведенной в табл. 2 (при ширине доски, меньшей или равной 26 см).

### 4. Стыки

Типичным соединением растянутых элементов является двухрядовый стык, наиболее рациональный как в отношении работы под действием усилий, так и по использованию сечения.

Однорядовые растянутые стыки не рекомендуются по причине неравномерности их работы вследствие указанного выше влияния дополнительного изгибающего момента.

При трехрядовом стыке допускаемые на кольца усилия должны быть снижены умножением на коэффициент  $k = 0,9$  (ТУ § 111) <sup>1</sup>.

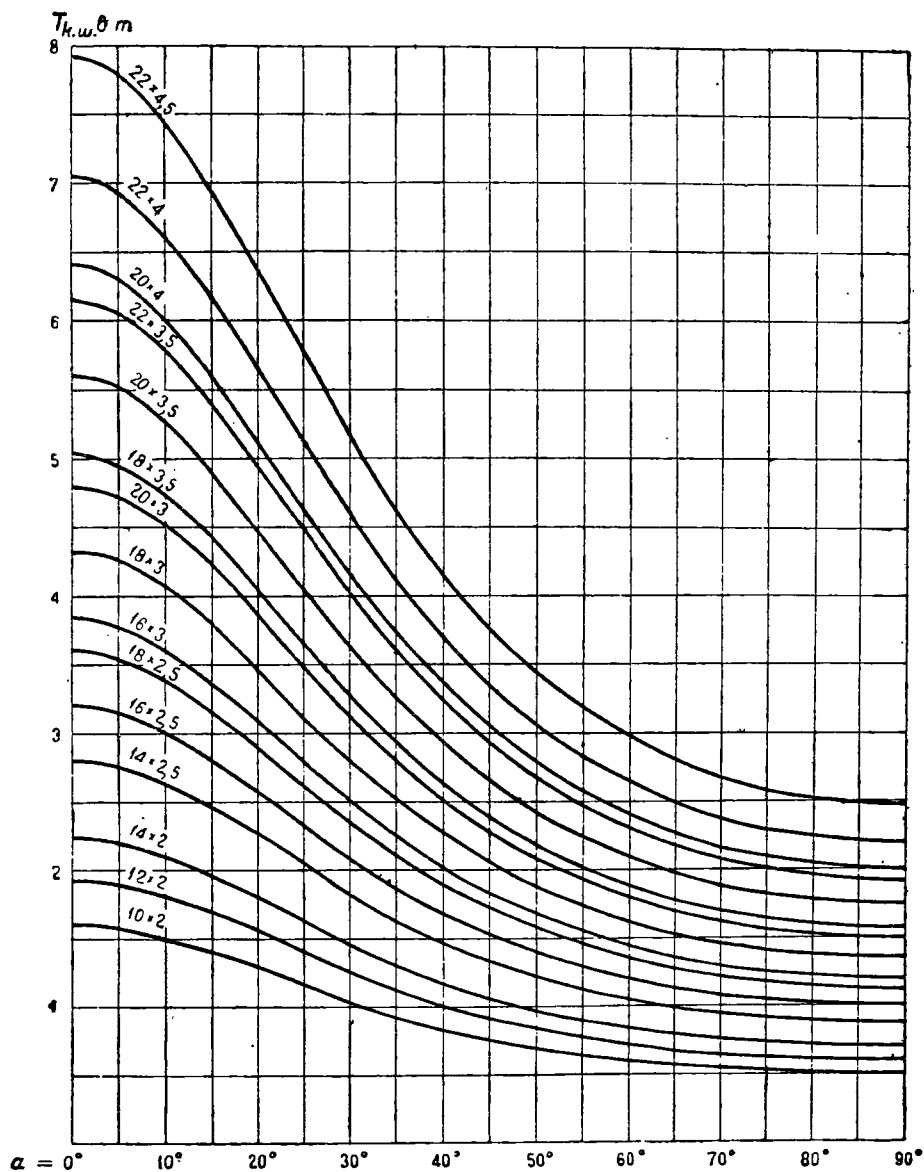
Накладки в стыках, как правило, делаются из досок той же толщины, что и основные доски.

В стыке составного элемента усилие, приходящееся на отдельную доску, принимается пропорциональным числу врезанных в нее колец. Например в досках двойного элемента (фиг. 12) действуют различные усилия: в крайних досках —  $2 \frac{N}{8} = \frac{N}{4}$ , в средней доске —  $4 \frac{N}{8} = \frac{N}{2}$ .

Указанное неравномерное распределение усилий должно учитываться при проверке напряжений.

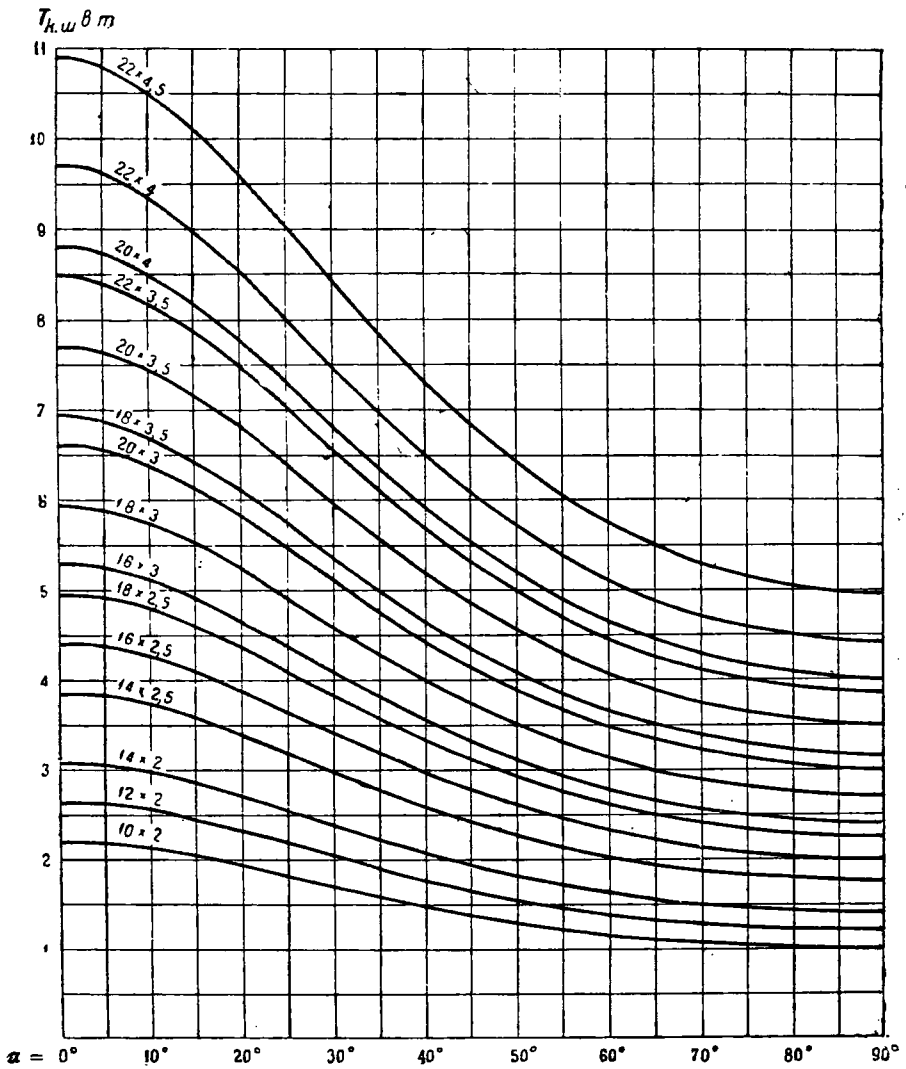
Стыки поясов следует располагать возможно ближе к узлам. Наиболее целесообразно совмещать растянутые стыки с узлами (фиг. 19).

<sup>1</sup> По результатам испытаний разрушающие усилия пропорциональны числу рядов.



Фиг. 7. График допускаемых усилий на кольцевую шпонку для воздушно-сухой сосны

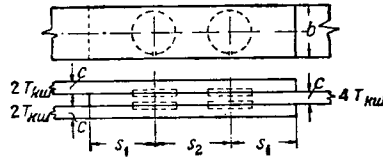
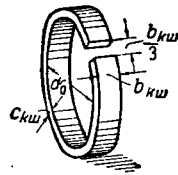
| d <sub>0</sub><br>в см | b <sub>к.ш</sub><br>в см | с <sub>к.ш</sub><br>в см | Площ.<br>ослабл.<br>в см <sup>2</sup> | Наимень-<br>ший размер<br>доски<br>в см |     |     | Наимень-<br>ший<br>диаметр<br>болта<br>в см | d <sub>0</sub><br>в см | b <sub>к.ш</sub><br>в см | с <sub>к.ш</sub><br>в см | Площ.<br>ослабл.<br>в см <sup>2</sup> | Наимень-<br>ший размер<br>доски<br>в см |     |     | Наимень-<br>ший<br>диаметр<br>болта<br>в см |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|---|-----|-----|---|------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|---|-----|-----|---|
|                        |                          |                          |                                       | b                                       | c   | a   |   |                        |                          |                          |                                       | b                                       | c   | a   |   |
| 22                     | 4,5                      | 0,7                      | 53                                    | 7                                       | 4,5 | 2,2 | 16  | 3,0                    | 0,5                      | 26                       | 20                                    | 4,5                                     | 3   | 1,6 |   |
|                        | 4,0                      | 0,6                      | 46                                    | 26                                      | 6   | 4   |   | 2,2                    | 2,5                      | 0,5                      | 21                                    | 4                                       | 3   | 1,6 |   |
|                        | 3,5                      | 0,6                      | 41                                    | 6                                       | 4   | 1,9 |   |                        |                          |                          |                                       |   |     |     |   |
| 20                     | 4,0                      | 0,6                      | 42                                    | 6                                       | 4   | 1,9 | 14  | 2,5                    | 0,5                      | 19                       | 18                                    | 4                                       | 3   | 1,2 |   |
|                        | 3,5                      | 0,6                      | 37                                    | 24                                      | 6   | 4   |   | 2,0                    | 0,4                      | 15                       | 18                                    | 3                                       | 3   | 1,2 |   |
|                        | 3,0                      | 0,6                      | 32                                    | 4,5                                     | 4   | 1,9 |   |                        |                          |                          |                                       |   |     |     |   |
| 18                     | 3,5                      | 0,6                      | 33                                    | 6                                       | 3,5 | 1,6 | 12  | 2,0                    | 0,4                      | 13                       | 15                                    | 3                                       | 2,5 | 1,2 |   |
|                        | 3,0                      | 0,5                      | 29                                    | 22                                      | 4,5 | 3,5 |   | 2,0                    | 0,4                      | 13                       | 13                                    | 3                                       | 2,5 | 1,2 |   |
|                        | 2,5                      | 0,5                      | 24                                    | 4                                       | 3,5 | 1,6 |   |                        |                          |                          |                                       |   |     |     |   |



Фиг. 8. График допустимых усилий на кольцевую шпонку для воздушно-сухого дуба

| $d_0$<br>в см | $b_{к.ш}$<br>в см | $c_{к.ш}$<br>в см | Площ.<br>ослабл.<br>в см <sup>2</sup> | Наимень-<br>ший размер<br>доски<br>в см |     |     | Наимень-<br>ший<br>диаметр<br>болта<br>в см | $d_0$<br>в см | $b_{к.ш}$<br>в см | $c_{к.ш}$<br>в см | Площ.<br>ослабл.<br>в см <sup>2</sup> | Наимень-<br>ший размер<br>доски<br>в см |     |     | Наимень-<br>ший<br>диаметр<br>болта<br>в см |     |
|---------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|---|-----|-----|---|---------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|---|-----|-----|---|-----|
|               |                   |                   |                                       | b                                       | c   | a   |   |               |                   |                   |                                       | b                                       | c   | a   |   |     |
| 16            | 3,0<br>2,5        | 0,5<br>0,5        | 26<br>21                              | 20                                      | 4,5 | 3   | 1,6   | 22            | 4,5<br>4,0<br>3,5 | 0,7<br>0,6<br>0,6 | 53<br>46<br>41                        | 26                                      | 7   | 4,5 | 2,2   |     |
|               |                   |                   |                                       |   | 4   | 3   |   |               |                   |                   |                                       |   | 6   | 4   |   | 2,2 |
|               |                   |                   |                                       |   | 4   | 3   |   |               |                   |                   |                                       |   | 6   | 4   |   | 1,9 |
| 14            | 2,5<br>2,0        | 0,5<br>0,4        | 19<br>15                              | 18                                      | 4   | 3   | 1,2   | 20            | 4,0<br>3,5<br>3,0 | 0,6<br>0,6<br>0,5 | 42<br>37<br>32                        | 24                                      | 6   | 4   | 1,9   |     |
|               |                   |                   |                                       |   | 3   | 3   |   |               |                   |                   |                                       |   | 6   | 4   |   | 1,9 |
|               |                   |                   |                                       |   | 4   | 3   |   |               |                   |                   |                                       |   | 4,5 | 4   |   | 1,9 |
| 12            | 2,0               | 0,4               | 13                                    | 15                                      | 3   | 2,5 | 1,2   | 18            | 3,5<br>3,0<br>2,5 | 0,6<br>0,5<br>0,5 | 33<br>29<br>24                        | 22                                      | 6   | 3,5 | 1,6   |     |
| 3             | 2,5               | 4                 | 3,5                                   | 1,6                                     |     |     |   |               |                   |                   |                                       |   |     |     |   |     |
| 4             | 3,5               | 4                 | 3,5                                   | 1,6                                     |     |     |   |               |                   |                   |                                       |   |     |     |   |     |

Таблица 1



Фиг. 9

Нормальный сортамент кольцевых шпонок

| Внутренний диаметр $d_0$<br>в см | Ширина $b$<br>в см | Толщина $c$<br>в см | Площадь ослабления $(d_0 + 2c) \frac{b}{2}$<br>в см <sup>2</sup> | Площадь смятия $d_0 b$<br>в см <sup>2</sup> | Длина железной полосы для кольца<br>в см | Вес кольца $g$<br>в кг | Минимальный диаметр болта<br>в см | Шайба<br>в см                             | Наименьший размер доски |             | $s_1$<br>в см | $s_2$<br>в см |
|----------------------------------|--------------------|---------------------|--|---|--|------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------|-------------|---------------|---------------|
|                                  |                    |                     |  |   |  |                        |                                   |   | $b$<br>в см             | $c$<br>в см |               |               |
| 22                               | 4,5                | 0,6                 | 52   | 99  | 69,4                                     | 1,47                   | 2,2                               | 8 × 8 × 0,6<br>8 × 8 × 0,6<br>7 × 7 × 0,5 | 26                      | 7           | 29            | 35            |
|                                  | 4,0                | 0,5                 | 46   | 88  |  | 1,09                   | 2,2                               |   |                         | 6           | 29            | 35            |
|                                  | 3,5                | 0,5                 | 40   | 77  |  | 0,96                   | 1,9                               |   |                         | 6           | 29            | 35            |
| 20                               | 4,0                | 0,5                 | 42   | 80  | 63,1                                     | 0,99                   | 1,9                               | 7 × 7 × 0,5<br>7 × 7 × 0,5<br>7 × 7 × 0,5 | 24                      | 6           | 26            | 32            |
|                                  | 3,5                | 0,5                 | 37   | 70  |  | 0,87                   | 1,9                               |   |                         | 6           | 26            | 32            |
|                                  | 3,0                | 0,4                 | 31   | 60  |  | 0,60                   | 1,9                               |   |                         | 5           | 26            | 32            |
| 18                               | 3,5                | 0,5                 | 33   | 68  | 56,8                                     | 0,78                   | 1,6                               | 6 × 6 × 0,4<br>6 × 6 × 0,4<br>6 × 6 × 0,4 | 22                      | 6           | 23            | 29            |
|                                  | 3,0                | 0,4                 | 28   | 54  |  | 0,54                   | 1,6                               |   |                         | 5           | 23            | 29            |
|                                  | 2,6                | 0,35                | 23   | 45  |  | 0,39                   | 1,6                               |   |                         | 5           | 23            | 29            |
| 16                               | 3,0                | 0,4                 | 25   | 48  | 50,5                                     | 0,48                   | 1,6                               | 6 × 6 × 0,4<br>6 × 6 × 0,4                | 20                      | 5           | 21            | 26            |
|                                  | 2,5                | 0,35                | 21   | 40  |  | 0,35                   | 1,6                               |   |                         | 4,5         | 21            | 26            |
| 14                               | 2,5                | 0,35                | 18   | 35  | 44,2                                     | 0,30                   | 1,2                               | 4,5 × 4,5 × 0,3<br>4,5 × 4,5 × 0,3        | 18                      | 4           | 18            | 22            |
|                                  | 2,0                | 0,3                 | 15   | 28  |  | 0,21                   | 1,2                               |   |                         | 3,5         | 18            | 22            |
| 12                               | 2,0                | 0,3                 | 13   | 24  | 38,0                                     | 0,18                   | 1,2                               | 4,5 × 4,5 × 0,3                           | 15                      | 3,5         | 16            | 19            |
| 10                               | 2,0                | 0,3                 | 11   | 20  | 31,7                                     | 0,15                   | 1,2                               | 4,5 × 4,5 × 0,3                           | 12                      | 3,5         | 13            | 16            |

Примечание. При резке полос железа для изготовления колец необходимо учитывать вытяжку при гнутье

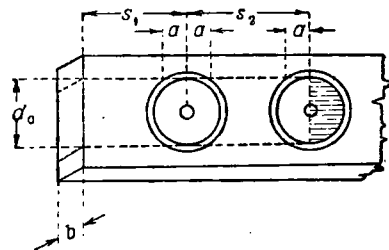
Таблица 2

Наименьшие допускаемые толщины досок

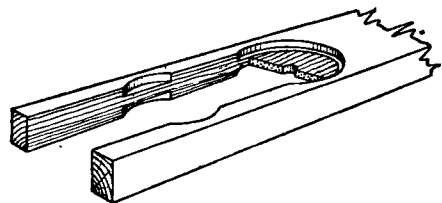
| Размеры шпонок |                  |                  | Наименьшая толщина доски $c$<br>в см |                                     |                                     |
|----------------|------------------|------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $d_0$<br>в см  | $b_{кш}$<br>в см | $c_{кш}$<br>в см | одно-<br>рядовые<br>соедине-<br>ния  | двух-<br>рядовые<br>соедине-<br>ния | трех-<br>рядовые<br>соедине-<br>ния |
| 14             | 2,5              | 0,35             | 4,5                                  | 6,0                                 | —                                   |
|                | 2,0              | 0,3              | 4,0                                  | 5,0                                 | —                                   |
| 12             | 2,0              | 0,3              | 4,0                                  | 5,0                                 | 6,0                                 |
| 10             | 2,0              | 0,3              | 4,0                                  | 5,0                                 | 6,0                                 |

При таком расположении стыка:

а) уменьшаются дополнительные напряжения от изгиба в поясных досках вследствие уменьшения их высоты;



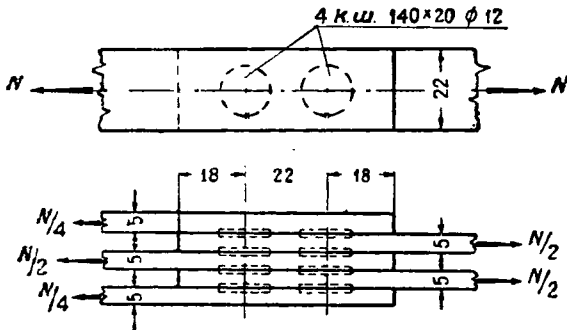
Фиг. 10



Фиг. 11. Схема к расчету на выкалывание средней части доски

б) ослабляется влияние неразрезности поясов, получающих возможность некоторого поворота в узлах;

в) отсутствуют дополнительные усилия в нижнем поясе, возникающие при расположении стыков в панелях вследствие излома оси пояса (для строительного подъема).



Фиг. 12. Схема стены составного элемента на кольцевых шпунках

Увеличение числа стыков компенсируется:

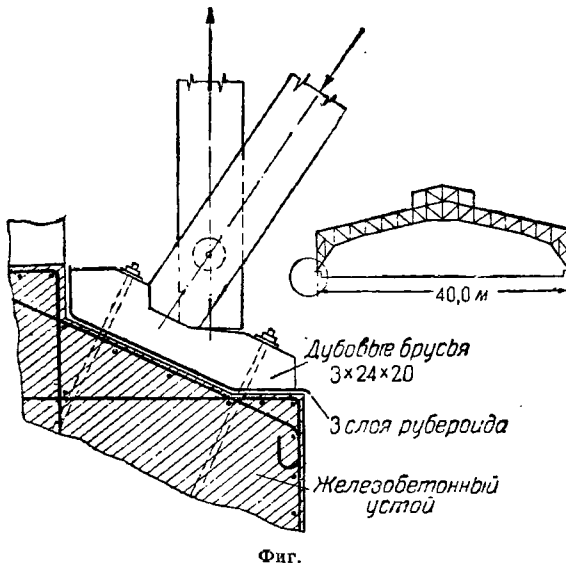
а) меньшей шириной поясных досок, сечение которых подбирается по ослаблению стыковыми кольцами;

б) применением лесоматериала меньшей длины;

в) удобством конструирования примыкания решетки, так как число досок в узле получается на одну больше.

## 5. Узлы

Узел 1 (фиг. 13) применяется в рамах и арках криволинейного и полигонального очертания. Плоскость опоры назначается перпендикулярной к среднему направлению кривой давления.

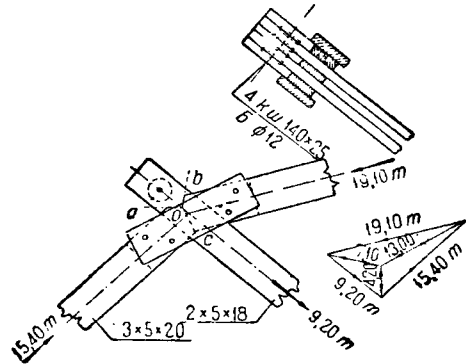


Фиг.

Преимущество: отсутствие специальных металлических частей при достаточной шарнирности опоры вследствие деформаций древесины.

Узел 2 (фиг. 14) — с трехлобовым упором и концевыми накладками в раскосе. Напряжение смятия по площадке ОС равно:

$$\sigma = \frac{13000}{13 \cdot 5 \cdot 3} = 66,7 < 70,5 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 14

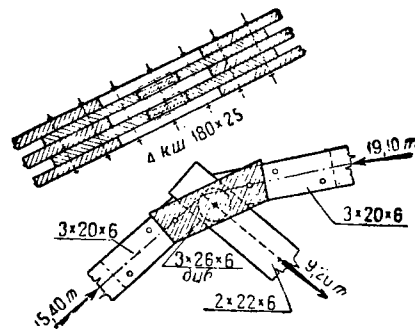
Преимущества: передача поясного усилия в лобовой упор, малая ширина досок в поясах и раскосе.

Недостаток: длинный выступающий конец раскоса.

Узел 3 (фиг. 15) — с прокладками в упор.

Преимущество: поясное усилие передается в лобовой упор.

Недостатки: примыкание раскоса под значительным углом; работа накладок на сжатие и изгиб (вызывающая часто необходимость применения дуба).



Фиг. 15

Узел 4 (фиг. 16) — коньковый.

Между концами раскосов должен быть оставлен прозор и на них не должен опираться прогон (это достигается путем подрезки прогона или подкладки отрезков досок на поясах).

При больших углах наклона верхнего пояса необходимо центрировать торцевые площадки по оси, соединяющей центры колец.

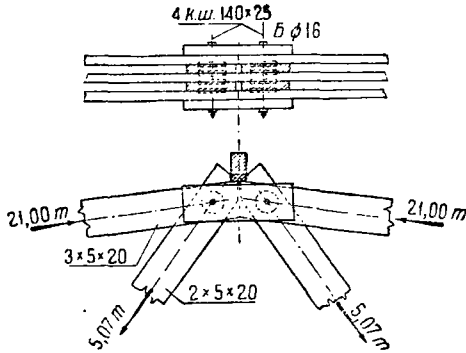
Преимущество: передача поясного усилия в лобовой упор.

Узел 5 (фиг. 17) — с трехлобовым упором.

Преимущество: малая ширина досок решетки. Работа кольцевой шпунки вдоль волокон.

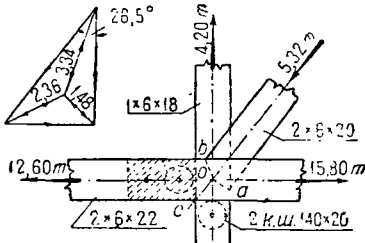


Недостатки: большое расстояние между досками нижнего пояса, большое количество узлов

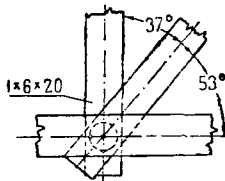
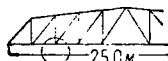


Фиг. 16

в нижнем поясе, сжатые элементы (раскосы) имеют большую длину.  
Узел 6 (фиг. 18).



Фиг. 17



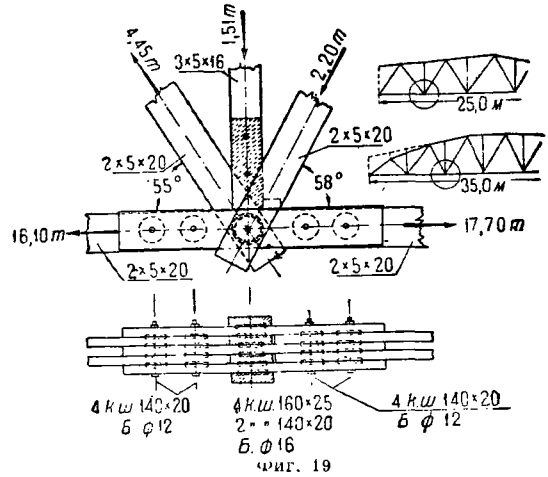
Фиг. 18

Преимущества: простота конструкции — без прокладок и врубок, примыкание стойки к раскосу под малым углом.

Недостатки: те же, что и в узле 5. Работа колец под углом.

Узел 7 (фиг. 19) — с совмещенными стыками. Стойка уперта в узловые прокладки и не входит в основную рабочую схему фермы, так как передает только узловую нагрузку.

Преимущество: малое число узлов нижнего пояса.



Фиг. 19

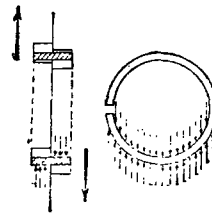
Недостаток: примыкание раскосов под значительным углом.

Выгодно применять при малых усилиях в решетке (нижняя схема).

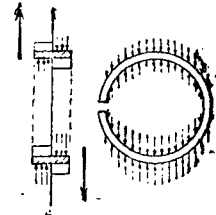
### 6. Требования к изготовлению кольцевого соединения

Как уже было отмечено выше, при изготовлении кольцевых соединений должны быть обеспечены большая точность разметки, производимой, как правило, по центровкам, а также большая точность центрирования при высверливании кольцевых дорожек и точный перенос центра с одной пласти доски на другую<sup>1</sup>.

Кольцевые дорожки и кольца должны иметь правильную форму и размеры, что достигается надлежащим оборудованием и тщательным производством работ.



Фиг. 20



Фиг. 21

Наиболее существенными недостатками плохо выполненных кольцевых соединений являются: 1) неравенство поперечных размеров (внутренний и наружный диаметр) кольцевых дорожек данного диаметра; 2) отсутствие прозора в разрезе кольца, заложеного на место.

Первый недостаток, как нетрудно уяснить из схем фиг. 1, приводит к преимущественной пере-

<sup>1</sup> Наиболее лучшим образом обеспечивается при применении машинки ивн. В. С. Фрыгина.

даче усилия только на одной половине кольца (фиг. 20).

Второй недостаток может привести к тому, что кольцо будет работать как замкнутое.

В первом случае получающаяся вначале перегрузка рабочих частей приводит к увеличенным деформациям, в результате которых усилия несколько перераспределяются и в работу включаются ранее не нагруженные части (фиг. 21). Однако скалывание сильно перегруженной части наступает все же ранее, чем выравниваются усилия, в результате чего запас прочности существенно снижается.

От первого недостатка свободны конструкции, изготовленные с помощью машинок Фрыгина и Черемухина, имеющих гнезда для резцов, благодаря которым при последовательных установках резцов расстояние между ними не может меняться.

Второй недостаток устраняется при самом изготовлении колец при проверке их размеров.

Смыкание прозора в кольцах при недостаточной величине его может произойти также вследствие усушки древесины. Для обеспечения прозора при применении полусухой древесины величина его должна быть не менее  $0,1d_0$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карлсен Г. Г., Исследование кольцевых шпонок Тухшерера, М. 1925 г.

2. Гестеши, Деревянные стропильные конструкции, пер. с нем., М. 1925 г., стр. 134—151, 300—303, 320.

3. Каменцев П. Я., О работе кольцевых шпонок. Доклад на I Всесоюзной конференции по инженерным деревянным конструкциям, 1931 г.

4. Иванов Ю. М., Действительная работа деревянных конструкций по результатам опытных исследований. Доклад на I Всесоюзной конференции по инженерным деревянным конструкциям, 1931 г.

5. Патон, Клеп, Дятлов, Опытное исследование соединений элементов деревянных конструкций, М. 1931 г.

6. Иванов Ю. М., Причины случаев недостаточного запаса прочности деревянных конструкций, «Строит. пром.» № 8, 1931 г. (эта статья помещена в приложении к книге Керстея, Современные деревянные конструкции, М. 1932 г., стр. 396—407).

7. Иванов Ю. М., Изготовление деревянных конструкций на кольцевых шпонках, «Строит. пром.» № 3, 1932 г.

8. Фрыги В. С., Рациональный способ изготовления деревянных ферм на кольцевых шпонках, «Строит. пром.» № 3, 1932 г.

9. Патон, Клеп, Дятлов, Добронецкий, Кольцевые соединения, М.—Л. 1932 г.

10. Иванов Ю. М., Опытное исследование сопряжений на кольцевой шпонке. Сектор испытаний ЦНИИС, 1932 г.

11. Иванов Ю. М., Влияние недостатков изготовления на работу кольцевых соединений, «Строит. пром.» № 5, 1933 г.

12. Иванов Ю. М., Работа соединений на кольцевых шпонках при растяжении и сжатии, «Строитель № 1, 1934 г.

13. Иванов Ю. М., Тухшерера кольцо. «Техническая Энциклопедия», стр. 354, 1934 г.

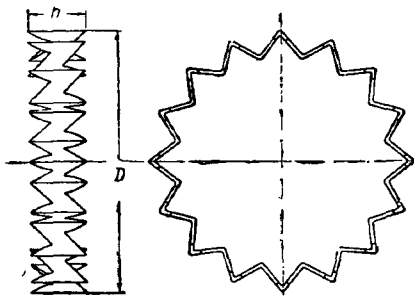
14. Lewe, Die Berechnung des geschlitzten Ringdubels. Der Holzbau, 1920 г.

Изв. М. М. ХОРЬКОВ

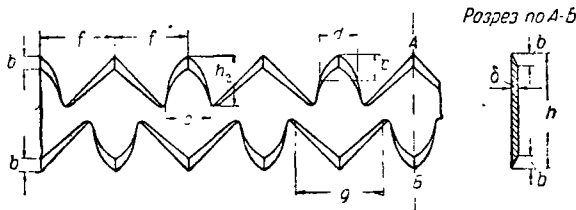
## VI. ЗУБЧАТО-КОЛЬЦЕВАЯ ШПОНКА

### 1. Общие сведения

Зубчато-кольцевые шпонки применяются для сопряжения под любым углом дощатых элементов в узлах сквозных деревянных конструкций. На фиг. 6, 7 и 8 показаны сопряжения на кольцевых шпонках в собранном и разобранном виде: на фиг. 6—под углом  $90^\circ$ , а на фиг. 5—под углом  $0^\circ$ .



Фиг. 1



Фиг. 2

Шпонка имеет зубцы несимметричной формы (фиг. 1, 2, 3 и 4), режущая кромка которых заострена для того, чтобы при погружении они не рвали волокон древесины.

Сопряжения на зубчато-кольцевых шпонках не требуют сверления или вырезывания дорожек; сборка производится путем вдавливания шпонок в цельную древесину. Зубья шпонки вдавливаются в каждую из сопрягаемых досок на глубину, равную половине высоты шпонки (фиг. 7, 8).

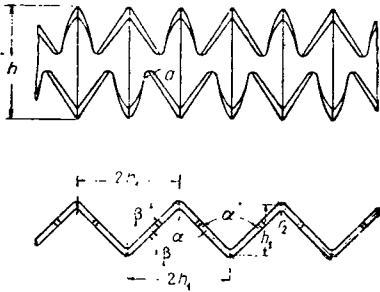
При значительной разнице в плотности сопрягаемых досок зубья погружаются в более мягкую древесину на 2—3 мм глубже, что однако не только не ухудшает работы сопряжения, но, напротив, обеспечивает его равнопрочность на смятие.

Благодаря тому что формирование гнезда происходит одновременно с погружением шпонки в древесину, сопряжения на зубчато-кольцевых шпонках обладают большой плотностью, равной примерно плотности гвоздевых сопряжений и постоянной по всем радиальным направлениям

кольца. Большая плотность сопряжений на зубчато-кольцевых шпонках позволяет им воспринимать значительные усилия. Последнее обстоятельство особенно ценно в арочных и рамных, а также в пространственных стержневых конструкциях.

Дробное приложение усилий и большие размеры поверхности, сопротивляющейся скалыванию, исключают опасность разрушения сопряжений на зубчато-кольцевых шпонках от скалывания.

ванья; испытания показали, что разрушение сопряжений всегда наступает от смятия древесины при соответствующих деформациях (изгиб



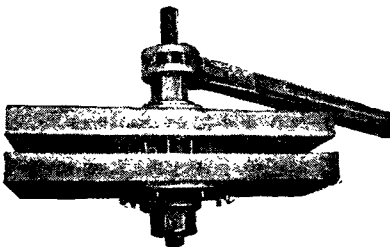
Фиг. 3

и скручивание стенок) самой шпонки. Фиг. 9 показывает, что благодаря влиянию зубчато-кольцевой обоймы болт не раскалывает и не



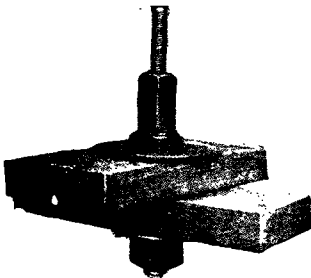
Фиг. 4

скалывает конца доски даже в стадии разрушения всего сопряжения. Фиг. 10 иллюстрирует возможность концентрической постановки пары зуб-



Фиг. 5

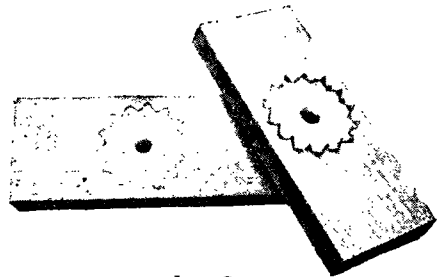
чато-кольцевых шпонок около одного болта; и в этом случае разрушение также характеризуется не скалыванием, а смятием древесины.



Фиг. 6

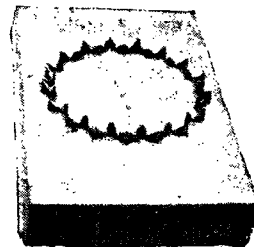
Удельное ослабление сечения доски от погружения шпонки в древесину, отнесенное к единице воспринимаемого усилия, меньше, чем у других видов соединений.

Соппротивление сопряжения на зубчато-кольцевых шпонках сдвигу определяется сложным сопротивлением смятию древесины, сопротивлением изгибу и скручиванию самой шпонки и силами трения. Определение допускаемого усилия на шпонку аналитическим путем представляет



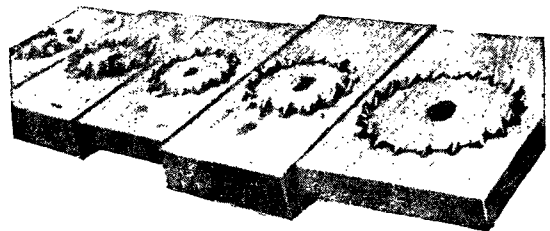
Фиг. 7

трудно разрешимую задачу. В табл. 1 приведены величины допускаемых усилий, установленных на основании лабораторных испытаний, которыми и следует руководствоваться при расчете сопряжений.



Фиг. 8

Приведенные в таблице допускаемые усилия на одну шпонку действительны при всех углах работы шпонки в воздушно-сухой сосновой древесине марки 1. Эти усилия учитывают и работу болта. Если применяется древесина других пород и качества, не соответствующего классу сооружения или более влажная, то допускаемые



Фиг. 9

усилия снижаются умножением на коэффициенты, приведенные в ТУ и Н. В конструкциях, не защищенных от действия влаги, следует применять оцинкованные шпонки, в защищенных же конструкциях — покрывать шпонки лаком.

Сечение болтов подобрано с расчетом на плотную стяжку сопряжения; размеры диаметров

Таблица 1

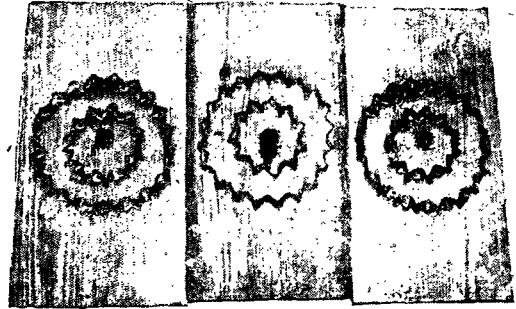
Данные для расчета соединений на зубчато-кольцевых шпонках

| Номер и диаметр шпонки $d_0$<br>в см | Ширина шпонки $b$<br>в см | Толщина шпонки $e$<br>в мм | Ослабление сечения одной шпонкой<br>в см <sup>2</sup> | Вес шпонки<br>в кг | Диаметр болта<br>в см | Размеры шайбы<br>в см |         | Вес шайбы<br>в кг | Наименьшие размеры досок в см |         | Наименьшее расстояние в см между шпонками<br>в см | Наименьшее расстояние от края шпонки до конца доски<br>в см | Допускаемые выходы из шпонки<br>Т, д, ж, л<br>в кг |
|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------|---|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------|-------------------|-------------------------------|---------|---|---|--|
|                                      |                           |                            |   |                    |                       | диаметр               | толщина |                   | ширина                        | толщина |   |   |  |
| 6                                    | 1,9                       | 1,2                        | 4,0   | 0,084              | 1,27                  | 4,5 × 4,5             | 8       | 0,005             | 8                             | 4       | 5,0   | 5,0   | 600  |
| 8                                    | 1,9                       | 1,2                        | 5,2   | 0,084              | 1,27                  | 5,5 × 5,5             | 10      | 0,095             | 10                            | 4       | 6,0   | 6,0   | 800  |
| 10                                   | 1,9                       | 1,2                        | 6,5   | 0,080              | 1,27                  | 7,0 × 7,0             | 12      | 0,190             | 12                            | 4       | 8,0   | 8,0   | 1 200  |
| 12                                   | 2,7                       | 1,5                        | 9,6   | 0,080              | 1,90                  | 9,0 × 9,0             | 15      | 0,56              | 15                            | 5       | 12,0  | 12,0  | 1 900  |
| 14                                   | 2,7                       | 1,5                        | 11,2  | 0,080              | 2,23                  | 10,0 × 10,0           | 17      | 0,76              | 17                            | 5       | 14,0  | 14,0  | 2 400  |
| 16                                   | 2,7                       | 1,5                        | 12,7  | 0,108              | 2,54                  | 11,0 × 11,0           | 19      | 0,84              | 19                            | 5       | 16,0  | 16,0  | 2 700  |
| 18                                   | 2,7                       | 1,5                        | 14,3  | 0,20               | 2,84                  | 12,0 × 12,0           | 21      | 1,20              | 21                            | 5       | 18,0  | 18,0  | 3 000  |
| 20                                   | 2,7                       | 1,5                        | 15,9  | 0,140              | 2,86                  | 13,0 × 13,0           | 23      | 1,50              | 23                            | 5       | 20,0  | 20,0  | 3 300  |
| 22                                   | 2,7                       | 1,5                        | 17,5  | 0,155              | 2,86                  | 14,0 × 14,0           | 25      | 1,80              | 25                            | 5       | 22,0  | 22,0  | 3 500  |
| 22 + 14                              | 2,7                       | 1,5                        | 17,6  | —                  | 3,49                  | 16,0 × 16,0           | 25      | 2,70              | 25                            | 6       | —   | —   | 4 800  |
| 22 + 12                              | 2,7                       | 1,5                        | 17,6  | —                  | 3,49                  | 16,0 × 16,0           | 25      | 2,90              | 25                            | 6       | —   | —   | 4 800  |
| 20 + 12                              | 2,7                       | 1,5                        | 15,9  | —                  | 3,49                  | 17,0 × 17,0           | 25      | 3,25              | 25                            | 6       | —   | —   | 4 400  |

Для концентрически поставленных шпонок

Примечание. В графе 4 таблицы показано ослабление сечения доски только самой шпонкой, в расчете сопряжений необходимо кроме того учитывать дополнительное ослабление сечения болтовым отверстием.

болтов не должны уменьшаться даже в том случае, если шпоночное соединение не работает на полное расчетное усилие сдвига. Размеры плоской шайбы должны предотвратить коробление досок и обеспечить равномерную плотность шва по всей его поверхности.



Фиг. 10

## 2. Проектирование конструкций на зубчато-кольцевых шпонках

Проектирование конструкций на зубчато-кольцевых шпонках весьма несложно. После статического расчета конструкции по полученным усилиям подбираются по табл. 1 шпонки, затем проверяются крепость элементов в наиболее ослабленном сечении и их устойчивость. Никакой проверки местных напряжений в соединении не требуется.

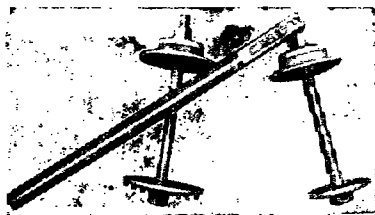
## 3. Сборка конструкций

Сборка деревянных конструкций на зубчато-кольцевых шпонках производится в следующем порядке.

1) Заготовленные по шаблонам элементы фермы должны иметь центровые болтовые отверстия, заранее точно засверленные. Ферма собирается путем последовательного насаживания досок и зубчато-кольцевых шпонок на центровые стержни болтовых сжимов (фиг. 5), диаметр которых в точности соответствует диаметру засверленных центровых отверстий и стяжных болтов. Центровые болтовые отверстия в элементах фермы могут быть засверлены после ее монтажной сборки. За сверловкой следуют разборка фермы и закладывание шпонок. Такой способ сквозного сверления гарантирует точное совпадение между отверстиями в элементах. Необходимо следить за тем, чтобы отверстия были перпендикулярны к плоскости фермы, иначе стержень сжима при запрессовке шпонок будет изгибаться, что затрудняет работу. В этом отношении предпочтение следует отдать сверлению центровых отверстий в каждой доске порознь по шаблонам с направляющими «кондукторами». И в том и другом случаях сверление буравами нежелательно, так как дает отверстия с рваной поверхностью, весьма затрудняющей закладку и выдергивание стержня сжима. По установке во всех узлах фермы сжимов производится запрессовка узлов посредством завинчивания гаек трехточечным ключом (фиг. 5) до плотного смыкания всех элементов.

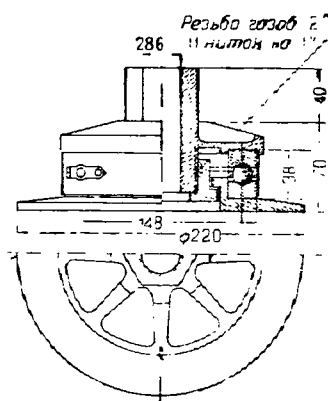
Силы трения, возникающие между гайкой и шайбой при вдавливании шпонки в древесину, сильно затрудняют стяжку узлов. Поверхностная

смазка при больших напряжениях выжимается и мало помогает. Нормальная работа запрессовки может быть обеспечена болтовым сжимом с проложенным между гайкой и шайбой упорным шарикоподшипником (фиг. 11 и 12). Стяжка узлов с помощью этих сжимов осуществляется почти в два раза легче, чем простыми болтовыми сжимами (фиг. 5). Еще более совершенным является запрессовывание шпонок специальными коническими домкратами, предложенными сотрудником СДК ЦНИПС инж. Котовым Н. Ф. Применение этого способа вовсе исключает работу болта на скручивание.



Фиг. 11

После запрессовки конструкция должна пробыть не менее одного часа в обжатом состоянии. Выдерживание узлов позволяет в значительной мере погасить упругий отпор обжатой шпоночной древесины. Лишившись части упругого отпора, узлы почти не расходятся и после снятия сжимов. После замены сжимов проектными болтами и шайбами производится окончательная стяжка узлов фермы.

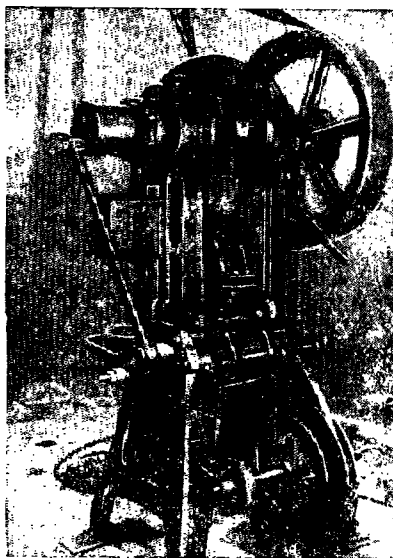


Фиг. 12

В случае отсутствия специальных болтовых сжимов запрессовка узлов может производиться при помощи болтов с прокладкой плоских шайб толщиной около 20 мм. Контур шайб должен полностью перекрывать контур всей шпопки. Запрессовочные болты необходимо делать удлиненного размера с нарезкой на всем удлинении. После выдерживания конструкции запрессовочные болты заменяются проектными, а плоские шайбы — коническими. В запрессовочных болтах нарезка резьбы должна быть равномерной, не рваной, с хорошей пригонкой гайки; высота последней должна быть нормальной,

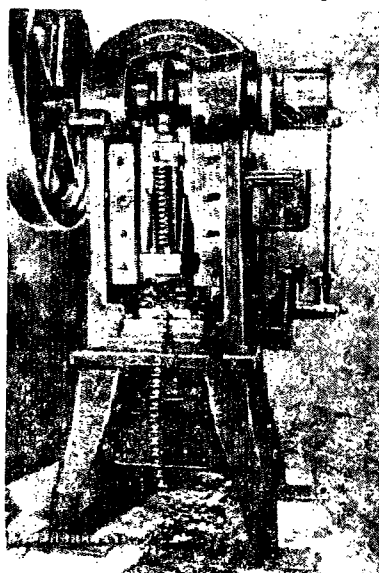
т. е. равной диаметру болта. Сокращенные по высоте гайки имеют недостаточное количество резьбовых ниток, а потому при завинчивании могут срываться и портить болты.

При запрессовке необходимо следить за тем, чтобы погружение шпонок было равномерным.



Фиг. 13

т. е. чтобы движение досок было только поступательным без переноса. Перенос досок наступает от неравномерной затяжки смежных узлов, затрудняющей плотную стяжку всего сопряжения. Не-



Фиг. 14

равномерное погружение шпонок может произойти также от большой внецентренности их расположения по отношению к оси болта (если запрессовка происходит болтовым сжимом) или же от попадания зубцов на сучки. Влияние неравномер-

ности особенно резко сказывается в двух- или многорядовых стыковых соединениях, в которых «стопки» шпонок находятся на близком расстоянии одна от другой. В таких сопряжениях неравномерная стяжка соседних стоек колец приводит к значительному перекосу досок, если не применять частого чередования в запрессовке соседних стоек, допуская лишь небольшие отставания в погружении одной стойки по отношению к другой. Центрирование шпонок вокруг болта производится вручную, без разметки. В случае поадавия зубца на сучок шпонка может быть повернута и несколько смещена от сучка хотя бы в такой мере, чтобы зубец коснулся его кромки, чем уже достигается почти полная безопасность в отношении коробления шпонок. Небольшая неравномерность погружения шпонок, происходящая от внецентренности или перекоса элементов, вредных последствий на ее размещение и сопротивление сдвигу не оказывает при условии, если сопряжение плотно стянуто по всей поверхности.

#### 4. Изготовление зубчато-кольцевых шпонок

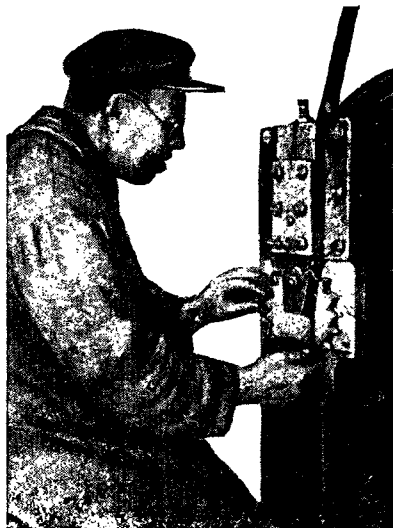
Производство зубчато-кольцевых шпонок было впервые организовано ЦНИИС под руководством



Фиг. 15

автора в 1934 г. в виде ползаводской установки, выпускающей ежедневно около 1000 шт. Обработка ленты, идущей на изготовление зубчато-

кольцевых шпонок, разделена на следующие операции: эксцентриковый пресс-агрегат (фиг. 13 и 14) вырубает зубцы, отбивает их кромки, наме-



Фиг. 16

чает гофр и гофрирует зубцы. Все четыре операции производятся в один удар четырьмя штампами, последовательно установленными на столе пресса. За каждым ударом пресса следует подача в штампы ленты на постоянную величину. Эта подача производится автоматически при помощи питающего механизма, связанного тягой с коленчатым валом пресса.

Обработанная лента режется ножницами на куски в соответствии с размерами колец. Сварка стыка шпонок производится на электросварочной машине (фиг. 15).

После сварки стыка шпонка оправляется на штампах, укрепленных в эксцентриковом прессе (фиг. 16). Оправка выравнивает гофр и придает шпонке правильную кольцевую форму проектного диаметра. Оправка производится при ручной подаче.

*Инж. А. В. ЛЕНЯШИН*

## VII. НАГЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

### 1. Типы нагельных соединений

Наиболее распространенными типами нагелей являются: 1) болт (круглое железо-сталь), 2) гвоздь, 3) дубовый нагель, 4) трубчатый нагель (стальные трубки) и 5) пластинчатый дубовый или березовый нагель. В последнее время намечается применение мощного металлического нагеля крестового сечения с механизированной завивкой.

Нагельные соединения применяются главным образом при стыковании растянутых элементов деревянных конструкций и при продольном сплачивании досок или брусен в элементах

составных сечений, работающих на поперечный или продольный изгиб.

В узловых сопряжениях сквозных конструкций нагельные соединения применяются только при слабо работающей решетке: в сегментных, серповидных и подобных им деревянных фермах — в виде гвоздей, в безметаллических деревянных конструкциях — в виде деревянных нагелей.

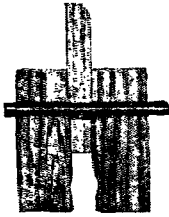
### 2. Характеристика работы нагельных соединений

Передача нагелем усилий происходит за счет упругого сопротивления его на изгиб и работы на смятие нагельного гнезда.

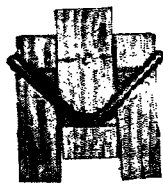
Характер работы и метод расчета самого нагеля в основном определяются его изгибом.

Нагель, вращенный в толще сопрягаемых элементов, погашает работой на изгиб момент, создаваемый эксцентриситетом приложенных к

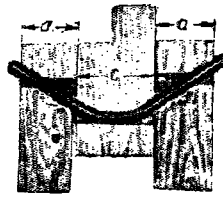
При большой (по отношению к толщине сопрягаемых элементов) жесткости нагеля закон распределения напряжений смятия близок к линейному; но мере уменьшения относительной жесткости нагеля линейность распределения напря-



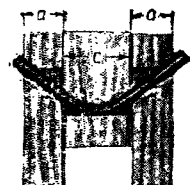
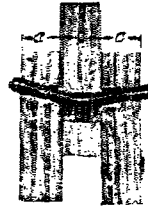
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3.



Характер деформаций металлического нагеля в симметричном сопряжении при различных толщинах среднего элемента  $c$

нему сил, поэтому нагельное соединение в отличие от шпильчатого распорного является безраспорным. Теоретически сопряжения на гвоздях не нуждаются в стяжке между собой сопрягаемых элементов, однако для предотвращения рас-

хождения все более нарушается в сторону увеличения крайних напряжений.

Необходимо особо отметить, что характер разрушения, а также степень надежности сопряжения в большой мере определяются именно относительной жесткостью (гибкостью) нагеля.

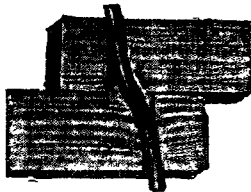
При гибких нагелях ( $c \gg c_n$  и  $a \gg a_n$ )<sup>1</sup> разрушение соединения обычно наступает после того, как крайние напряжения смятия достигли величины разрушающих; при дальнейшем увеличении напряжений возможно скалывание или раскалывание дерева.

Сопряжения с относительно гибкими нагелями при достаточно хорошем качестве выполнения имеют высокую степень надежности ( $k_2$  равно от 2,5 до 4). Эта повышенная надежность объясняется уменьшением опасности скалывания благодаря дробности передачи усилия, а также значительной податливостью гибких нагелей, способствующей выравниванию усилий между отдельными нагелями при большом количестве их в одном сопряжении.

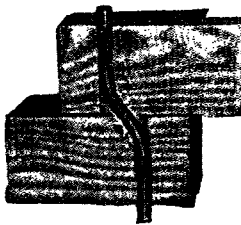
При гибких нагелях из более слабого материала, например деревянных, разрушение сопряжения наступает от излома самого нагеля при  $k_2$ , равном от 2 до 3,5 (фиг. 7).



Фиг. 4.



Фиг. 5.

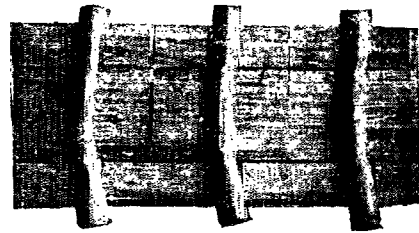


Фиг. 6

Характер деформаций металлического нагеля в несимметричном сопряжении при различных толщинах сопрягаемых элементов

стройства сопряжения от усушки, коробления и других случайных причин постановка стяжных болтов все-таки необходима. При условии тщательной пригонки стяжные болты (помимо прямого их назначения) можно рассматривать как полноценно работающие нагели.

Характер распределения напряжений смятия древесины по толщине сопрягаемых элементов в основном определяется степенью деформируемости нагеля от изгиба (фиг. 1—6).



Фиг. 7. Разрушение дубового нагеля от изгиба

При нагелях повышенной жесткости ( $c < c_n$ ,  $a < a_n$ ) деформации нагеля от изгиба очень незначительны, закон распределения смятия по длине нагеля близок к линейному и разрушение сопряжения, как правило, происходит от скалывания (фиг. 8). Неравномерность работы жестких нагелей усугубляет опасность скалывания, так как выравнивание усилий между жесткими нагелями вследствие их малой податливости мало вероятно.

Применение жестких нагелей не может быть рекомендовано вследствие их меньшей надежности.

<sup>1</sup> См. «Расчет нагельных соединений», стр. 102.

Коэффициент запаса для жестких нагелей  $k_n$  равен от 2 до 3 и в некоторых случаях даже меньше.

Разрушение нагельных сопряжений (стыков) от разрыва по ослабленному сечению обычно происходит вследствие плохого качества древесины или ее дефектов (косослой, сучки и т. п.), а главным образом вследствие плохого качества выполнения сопряжения, приводящего к несимметричной работе поперечного сечения с сильной перегрузкой отдельных нагелей. Явлению разрыва в этом случае, как правило, сопутствует скалывание наиболее перегруженных нагелей.

Опасность такого разрушения, как уже указывалось выше, значительно меньше при применении относительно гибких нагелей.



Фиг. 8. Разрушение сопряжения от скалывания в сопряжении на жестких нагелях

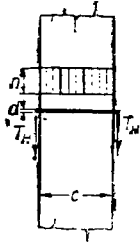
Кроме большей надежности гибкие нагели дают более экономное поперечное сечение соединяемых элементов и требуют меньшего расхода металла.

Поэтому применение жестких нагелей может быть допущено лишь в виде исключения и то лишь при условии высокой точности их постановки, обеспечивающей совместную их работу.

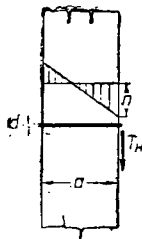
### 3. Расчет нагельных соединений

Вследствие взаимной зависимости между деформациями изгиба нагеля и смятием древесины задача об изгибе нагеля в сопряжении статически неопределима даже в наиболее простых схемах нагружения нагеля.

Для точного решения этой задачи необходимо применить к нагелю метод расчета балок на сплошном уругом основании.



Фиг. 9. Схема распределения напряжений смятия в симметричном сопряжении при жестком нагеле



Фиг. 10. Схема распределения напряжений смятия в несимметричном сопряжении при жестком нагеле

Использовать этот метод в практических расчетах весьма затруднительно: а) вследствие сложности математических вычислений и б) вследствие того, что входящий в расчетные формулы, характеризующий податливость уругого основания «коэффициент постели» (древесины) весьма неопределен и зависит от многих трудно учитываемых факторов: угла смятия, влажности, интенсивности и схемы нагружения, качества выполнения сопряжения и др. Упрощенный метод

расчета нагельных сопряжений, принятый в ТУ и Н, основан на следующих положениях, достаточно точно совпадающих с данными теоретического анализа и экспериментов.

1. При изменении толщины сопрягаемых элементов  $c$  и  $a$  от нуля до некоторых нормальных для сопряжения величин  $c_n$  и  $a_n$ , зависящих от жесткости нагеля и от податливости древесины, распределение напряжений смятия по длине нагельного гнезда можно принять происходящим по линейному закону (жесткие нагели, т. е.  $c < c_n$ ,  $a < a_n$ ) (фиг. 9 и 10). Прочность сопряжений в этом случае определяется прочностью древесины на смятие и скалывание.

Величина допускаемой нагрузки на один «срез» нагеля  $T_n^1$  может быть представлена как линейная функция величин  $c$  и  $a$ , т. е.:

$$T_n = k_c c d [n_c]_d; \quad (1)$$

$$T_n = k_a a d [n_c]_a, \quad (2)$$

где  $c$  — толщина среднего элемента в см;

$a$  — толщина крайнего элемента в см;

$d$  — диаметр нагеля в см;

$[n_c]_a$  — условное среднее допускаемое для угла  $\alpha$  напряжение смятия в кг/см<sup>2</sup>;

$k_c$  и  $k_a$  — коэффициенты, зависящие от схемы нагружения нагеля и следовательно от характера распределения напряжений смятия по длине нагеля.

2. При увеличении толщины сопрягаемых элементов свыше  $c_n$  и  $a_n$  решающим для прочности сопряжения становится прочность самого нагеля на изгиб. Линейность распределения напряжений смятия нарушается в сторону увеличения краевых напряжений. Значение  $T_n$  при данном диаметре достигает максимума при  $c = c_n$  и  $a = a_n$  и при дальнейшем увеличении  $c$  и  $a$  остается постоянным так же, как и момент, изгибающий нагель. Значения  $c = c_n$  и  $a = a_n$  отвечают равнопрочному решению сопряжения на смятие древесины и изгиб нагеля. Соответствующие значения  $c_n$ ,  $a_n$  и  $T_n$  могут быть определены по формулам:

$$c_n = \frac{h}{k_c} d \sqrt{\frac{[n_n]}{[n_c]_a}}; \quad (3)$$

$$a_n = \frac{h}{k_a} d \sqrt{\frac{[n_n]}{[n_c]_a}}; \quad (4)$$

$$T_n = k d^2 \sqrt{[n_n][n_c]_a}, \quad (5)$$

где  $k$  — опытный коэффициент, зависящий от формы и материала нагеля и от соотношения между допускаемым напряжением и временным сопротивлением нагеля на изгиб, от характера нагружения нагеля и др.

3. Прочность нагельных сопряжений, зависящая от скалывания древесины, обеспечивается нормами расстановки нагелей, при соблюдении которых дополнительной поверки на скалывание не требуется.

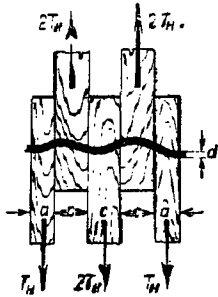
4. Поверка на разрыв по ослабленному сечению обязательна в каждом растянутом нагельном сопряжении.

<sup>1</sup> Употребляемый в расчетах термин «нагельный срез» следует понимать условно, ибо в действительности разрушение сопряжения даже на дубовых нагелях происходит не от среза, а от изгиба и смятия нагеля, после чего лишь возможно перерезывание (вернее — разрыв) нагеля в шве между сплачиваемыми элементами.



В расчетную площадь на растяжение  $F_{нетто}$  вводится только площадь непрерывных волокон<sup>1</sup>.

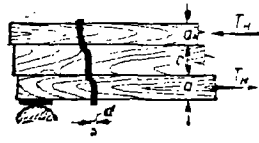
Для упрощения расчет нагельных сопряжений производится по двум основным схемам: 1) с симметричным (фиг. 11) и 2) с несимметричным загрузением нагеля (фиг. 12 и 13).



Фиг. 11. Схема симметричного сопряжения



Фиг. 12. Схема однострежнего несимметричного сопряжения



Фиг. 13. Схема двухсрежнего несимметричного сопряжения

В симметричных нагельных сопряжениях (фиг. 11) напряжение смятия по толщине среднего элемента при  $c \leq c_n$  может быть принято равномерным, поэтому  $T_n$  из условия смятия древесины в среднем элементе определяется по ф-ле (1) при  $k_c = 0,5$ , т. е.:

$$T_n = 0,5cd[n_c]_a; \quad (6)$$

$$c_n = 2kd \sqrt{\frac{[n_c]}{[n_c]_a}}. \quad (7)$$

Значение  $T_n$  из условия прочности на смятие древесины в крайнем элементе определяется по ф-ле (2), т. е.:

$$T_n = k_a ad[n_c]_a.$$

Вследствие защемления нагеля в соседних элементах распределение напряжений в крайнем элементе зависит от его относительной толщины. Так, при  $a = a_n$  распределение напряжений смятия при расчетном загрузении близко к указанному на фиг. 10 и  $k_a$  в ф-ле (2) принимается равным 0,7. При  $a \leq 0,5a_n$  распределение напряжений может быть принято равномерным, и поэтому  $k_a = 1$ .

<sup>1</sup> Все расчетные формулы ТУ и Н, приведенные в настоящей статье, даны в предположении равенства нулю моментов,гибающих нагель, в швах разреза сопрягаемых элементов. Такое упрощение в некоторых случаях (особенно в несимметричных многосрежних сопряжениях) приводит к значительному отклонению расчетных формул от действительной работы сопряжения. В новом издании ТУ и Н проектирования деревянных конструкций ЦНИИПС намечает изменение расчетных формул в целях учета влияния этих моментов на работу отдельных элементов сопряжения.

Значения  $k_a$  для промежуточных значений  $a$

$$0,5a_n < a < a_n$$

берутся из графика фиг. 14 в зависимости от отношения  $\frac{a}{a_n}$ , где  $a$  — действительная толщина крайнего элемента и

$$a_n = 1,428kd \sqrt{\frac{[n_n]}{[n_c]_a}}. \quad (8)$$

Примечание. По конструктивным соображениям и в целях уменьшения краевых напряжений, а следовательно и уменьшения деформаций сопряжений, в дощатых деревянных конструкциях рекомендуется толщину накладки в стыке принимать равной толщине среднего элемента, т. е.  $a = c$ .

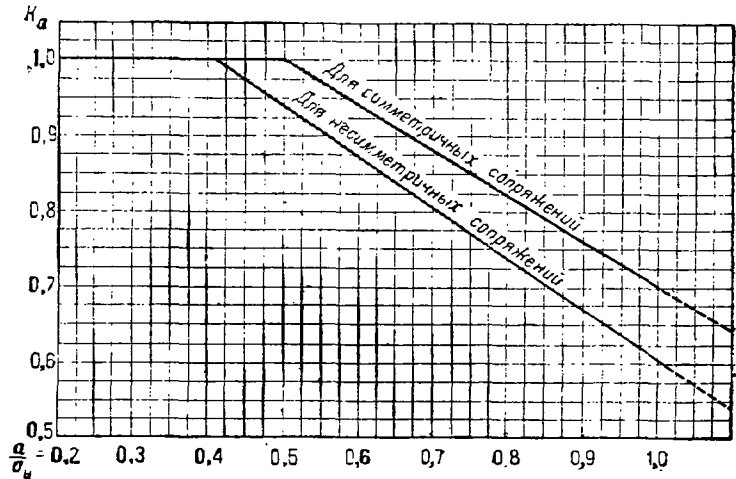
Максимальное значение  $T_n$ , определяемое изгибом нагеля, выражается ф-лой (5):

$$T_n = kd^2 \sqrt{[n_n][n_c]_a}$$

(значение  $k$  для различных типов нагелей см. ниже).

При решении симметричных сопряжений с металлическими накладками работа деревянной части определяется теми же ф-лами (5) и (6).

Металлические накладки поверяются на растяжение по  $F_{нетто}$  и на равномерное смятие по пло-



Фиг. 14. График значений  $k_a$  к ф-ле (2)

щади, равной произведению толщины накладки  $\delta$  на диаметр нагеля  $d$ , т. е.  $F = \delta d$ .

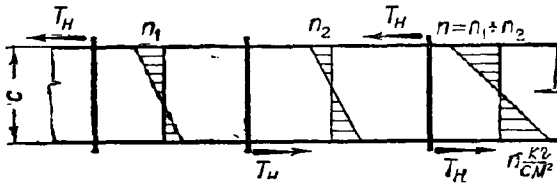
В несимметричных нагельных сопряжениях (фиг. 12 и 13) усилие  $T_n$ , допускаемое на один срез из условия смятия древесины, т. е. при  $a \leq a_n$  и  $c \leq c_n$ , определяется ф-лами (1) и (2) при  $k_a = 0,6$  и  $k_c = 0,4$ :

$$T_n = 0,6ad[n_c]_a; \quad (9)$$

$$T_n = 0,4cd[n_c]_a. \quad (10)$$

Действительные краевые напряжения смятия в этом случае равны приблизительно  $190 \text{ кг/см}^2$ . Характер распределения напряжений смятия в элементе  $a$  указан на фиг. 10.

Эпюра напряжений в элементе  $c$  получается путем сложения двух взаимно повернутых эпюр  $a$  (фиг. 15).



Фиг. 15. Схема распределения напряжений смятия в середине элемента несимметричного сопряжения при жестком нагеле

Примечание. В случае неравенства сил  $T' < T''$  (фиг. 16) коэффициент 0,4 в ф-ле (10) для силы  $T''$  может быть заменен величиной:

$$k_c = \frac{0,6}{1 + \frac{T''}{T'} \cdot 0,5}$$

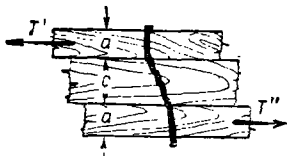
при условии, что  $c < c_n$ .

Максимальное усилие, определяемое изгибом нагеля, для несимметричных сопряжений выражается той же ф-лой (5), т. е.:

$$T_n = kd^2 \sqrt{[n_n][n_n]_a};$$

$$a_n = 1,67kd \sqrt{\frac{[n_n]_a}{[n_n]_n}}; \quad (11)$$

$$c_n = 2,5hd \sqrt{\frac{[n_n]_a}{[n_n]_n}}. \quad (12)$$



Фиг. 16

В несимметричных нагельных сопряжениях аналогично симметричным уменьшение толщины крайнего элемента (против  $a_n$ ) улучшает распределение в нем напряжения смятия

при условии нормального или избыточного защемления нагеля в соседнем элементе. В этом случае величина  $T$  из условий смятия определяется по ф-ле (2):

$$T_n = k_n ad [n_n]_a;$$

значение  $k_n$  в зависимости от отношения  $\frac{a}{a_n}$  берется из графика фиг. 14.

При сопряжении на нагелях элементов, сходящихся под углом, нормальные размеры сжимаемых элементов и допускаемые усилия на один срез нагеля определяются по вышеприведенным формулам, причем  $[n_n]_2$  берется в зависимости от величины угла  $\alpha$ .

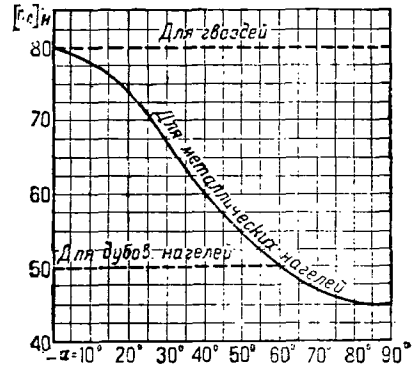
В воздушно-сухих сопряжениях на металлических нагелях (кроме гвоздей) принимается:

|                        | Для сосны                      | Для дуба                        |
|------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| при $\alpha = 0^\circ$ | $[n_n]_0 = 80 \text{ кг/см}^2$ | $[n_n]_0 = 110 \text{ кг/см}^2$ |
| » $\alpha = 90^\circ$  | $[n_n]_{90} = 45$              | $[n_n]_{90} = 85$               |

Для промежуточных углов  $\alpha$  напряжение  $[n_n]_a$  может быть определено по формуле:

$$[n_n]_a = \frac{[n_n]_0}{1 + \left[ \frac{[n_n]_0}{[n_n]_{90}} - 1 \right] \sin^2 \alpha} \quad (13)$$

или для сосны непосредственно по графику фиг. 17.



Фиг. 17. График допускаемых напряжений смятия  $[n_n]$  в нагельных сопряжениях элементов воздушно-сухой сосны

В сопряжениях на дубовых нагелях  $[n_n]_a$  определяется для большинства углов более слабым сопротивлением смятия дубового нагеля поперек волокон:

$$[n_n] = 56 \text{ кг/см}^2.$$

Примечание. Согласно последним испытаниям ЦНИИС допускаемое напряжение смятия нагельного гвоздя зависит не только от угла смятия, но и в большей мере от диаметра нагеля. Так, при малых диаметрах нагеля ( $d < 12 \text{ мм}$ ) влияние угла смятия незначительно, но мере же увеличения диаметра нагеля влияние угла сказывается в большей степени и для нагелей  $d \geq 3-4 \text{ см}$  приведенные на графике  $[n_n]_a$  являются даже преувеличенными.

Болтовые нагели (круглое железо). Для круглого железа (болта), служащего нагелем односрезного или многосрезного сопряжения, согласно ТУ принимается  $k = 0,5$ ;  $[n_n] = 1400 \text{ кг/см}^2$ , а напряжения смятия—по графику фиг. 17.

Тогда для сопряжений вдоль волокон в воздушно-сухих конструкциях из сосны будем иметь: для симметричных сопряжений по ф-лам (5), (7) и (8):

$$a_n = 2,487d;$$

$$c_n = 4,185d;$$

$$T_n = 167,3d^2.$$

Для несимметричных сопряжений по ф-лам (5), (11), (12):

$$a_n = 3,486d;$$

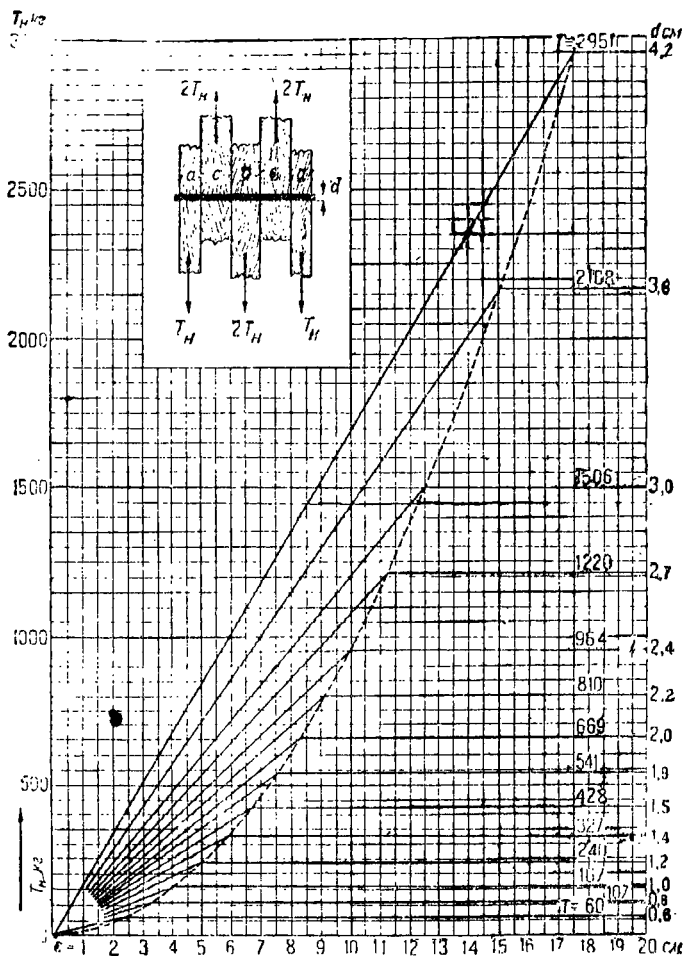
$$c_n = 5,229d;$$

$$T_n = 167,3d^2.$$

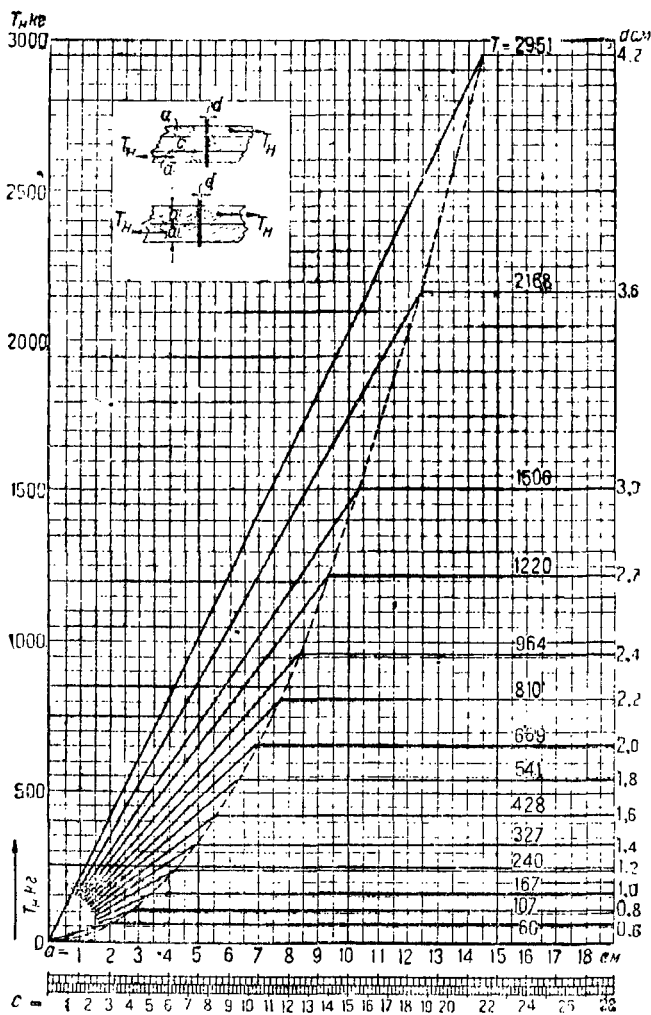
Графиками фиг. 18 и 19 можно пользоваться при угле смятия  $\alpha = 0^\circ$ , графиками же фиг. 20 и 21—при любом угле смятия.

Примечание. Во всех расчетных формулах совершенно не учтено влияние затяжки гайки в случае использования болта как нагеля. Влияние затяжки болта, особенно при гибких болтах, может повысить разрушающую нагрузку до 25%. Однако учитывать благоприятное влияние затяжки на прочность сопряжения рискованно. При слабой затяжке болта, а также при ослаблении ее в случае усадки благоприятное влияние натяжения болта скажется лишь после значительных, не допустимых для инженерных конструкций деформаций.

Трубчатые нагели. Трубчатые нагели обыкновенно изготавливаются из обрезков газовых труб.



Фиг. 18. Допускаемое усилие на один срез  $T_n$  симметричного лагательного сопряжения элементов из воздушно-сухой сосны вдоль волокон на болтовых нагелях при  $a = 0,714$  см

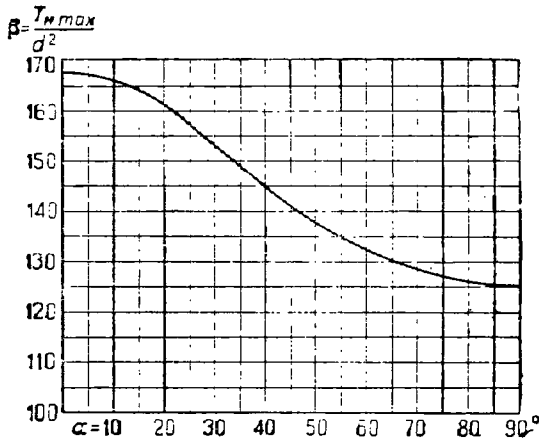


Фиг. 19. Допускаемое ускорение на один срез несимметричного нагревательного соприкосновения элементов из воздушно-сухой сосны вдоль волокон на болтовых нагрелах

Для трубчатых нагелей, так же как и для нагелей из круглого железа, принимается  $[n_n] = 1400 \text{ кг/см}^2$  и  $[n_c]$  — по графику фиг. 17. Значение коэффициента  $k$  берется в зависимости от жесткости трубки, т. е. при наружном диаметре  $d$  в зависимости от отношения  $\frac{d_0}{d}$ , по графику фиг. 22 или по формуле:

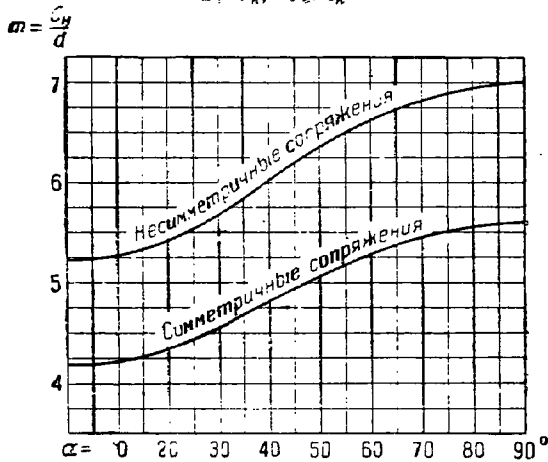
$$k = 0,5 \sqrt{\frac{d^4 - c_0^4}{d^4}} = 0,5 \sqrt{1 - \left(\frac{d_0}{d}\right)^4}, \quad (14)$$

где  $d_0$  — внутренний диаметр трубки.



Фиг. 20. График для определения максимальных усилий, воспринимаемых одним срезом болтового нагеля воздушно-сухой сосны при различных углах снятия:  $T_n^{\max} = 1 d^2$

$$a: c_n; c > c_n$$



Фиг. 21. График для определения нормальных толщин средних элементов  $c_n$  при различных углах снятия  $\alpha$ ;  $c_n = md$ ; в симметричном сопряжении  $a_n = 0,714 c_n$ ; в несимметричном сопряжении  $a_n = 0,667 c_n$

Тогда для воздушно-сухих сопряжений из сосны вдоль волокон имеем:

для симметричных сопряжений:

$$\begin{aligned} a_n &= 5,98kd; \\ c_n &= 8,37kd; \\ T_n &= 334,7kd^2; \end{aligned}$$

для несимметричных сопряжений:

$$\begin{aligned} a_n &= 6,97kd; \\ c_n &= 10,46kd; \\ T_n &= 334,7kd^2. \end{aligned}$$

Для расчета сопряжений на газовых трубках можно пользоваться данными таблицы (см. ниже).

При применении газовых трубок диаметром более 20 — 25 мм или трубок с отношением  $\frac{d_0}{d}$ , близким к единице, разрушение обычно наступает от потери устойчивости поперечного сечения трубки (сплющивание).

Таблица

Расчет нагельных сопряжений вдоль волокон на газовых трубках в конструкциях из воздушно-сухой сосны

| d<br>в см | d <sub>0</sub><br>d | k     | Симметричные<br>сопряжения |                        | Несимметрич-<br>ные сопря-<br>жения |                        | T <sub>n</sub><br>в кг |
|-----------|---------------------|-------|----------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
|           |                     |       | a <sub>n</sub><br>в см     | c <sub>n</sub><br>в см | a <sub>n</sub><br>в см              | c <sub>n</sub><br>в см |                        |
| 1,00      | 0,318               | 0,492 | 3,0                        | 4,2                    | 3,5                                 | 5,2                    | 166                    |
| 1,30      | 0,488               | 0,485 | 3,8                        | 5,3                    | 4,4                                 | 6,6                    | 274                    |
| 1,65      | 0,577               | 0,471 | 4,6                        | 6,5                    | 5,4                                 | 8,1                    | 430                    |
| 2,05      | 0,619               | 0,461 | 5,7                        | 7,9                    | 6,6                                 | 9,9                    | 648                    |
| 2,40      | 0,661               | 0,447 | 6,4                        | 9,0                    | 7,5                                 | 11,2                   | 860                    |
| 2,65      | 0,719               | 0,425 | 6,7                        | 9,4                    | 7,9                                 | 11,8                   | 1000                   |
| 3,00      | 0,740               | 0,415 | 7,4                        | 10,4                   | 8,7                                 | 13,0                   | 1250                   |
| 3,30      | 0,769               | 0,400 | 7,9                        | 11,0                   | 9,2                                 | 13,5                   | 1460                   |
| 4,20      | 0,756               | 0,407 | 10,2                       | 14,3                   | 11,9                                | 17,9                   | 2410                   |
| 4,60      | 0,793               | 0,388 | 11,1                       | 15,6                   | 13,0                                | 19,5                   | 2990                   |

Для предотвращения этого необходима в этом случае плотная загонка внутрь трубки хотя бы деревянного сердечника. Необходимо заметить, что газовые трубки, давая сопряжения, несколько более экономичные в отношении расхода металла, значительно усложняют производство работ и, как правило, обходятся дороже болтовых нагелей. Как трубчатые, так и болтовые нагели больших диаметров вследствие относительно большой жесткости имеют пониженный коэффициент надежности.

Дубовые нагели. Для изготовления дубовых нагелей применяется воздушно-сухой дуб марки 0. В сопряжениях на дубовых нагелях принимается  $[n_n] = 130 \text{ кг/см}^2$  и для углов  $\alpha$  от 0° до 60°  $[n_c]_\alpha = 50 \text{ кг/см}^2$ ;  $k = 0,6$ .

Для воздушно-сухих сопряжений из сосны вдоль волокон имеем:

для симметричных сопряжений:

$$\begin{aligned} a_n &= 1,38d; \\ c_n &= 1,93d; \\ T_n &= 48,37d^2; \end{aligned}$$

для несимметричных сопряжений:

$$\begin{aligned} a_n &= 1,61d; \\ c_n &= 2,415d; \\ T_n &= 48,37d^2. \end{aligned}$$

При расчете сопряжений вдоль волокон можно пользоваться графиками фиг. 23 и 24<sup>1</sup>.

#### 4. Конструктивные указания

Во всех нагельных сопряжениях для предотвращения расслаивания сопряжения необходима

<sup>1</sup> Расчет пластинчатых нагелей см. «Балки на пластинчатых нагелях (системы Деревятва)».

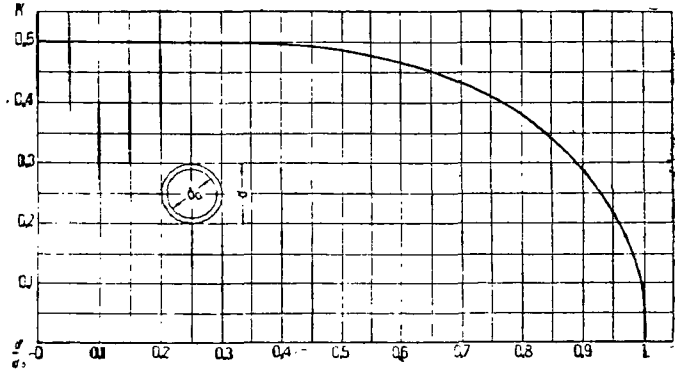
постановка достаточного количества стяжных болтов или развальцовка газовых трубок и т. п.

Для нагелей, вкладываемых в сверленные гнезда, продольные расстояния между осями нагелей, последовательно размещенных вдоль волокон, а также расстояние оси нагеля от торца доски должно быть из условия скалывания не менее  $5d$  независимо от направления усилия.

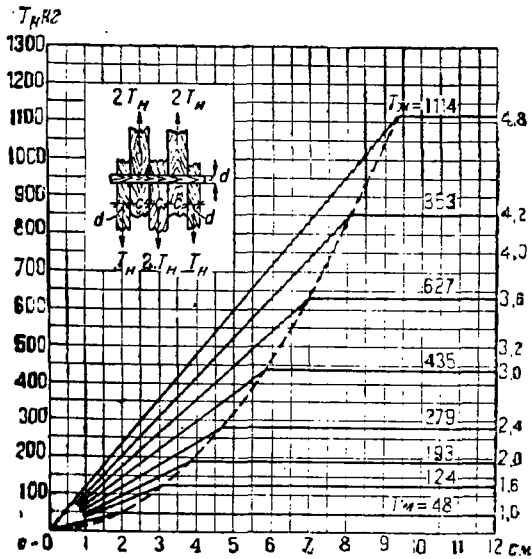
Поперечное расстояние между осями нагелей согласно ТУ должно быть не менее  $2,5d$ , а расстояние от кромки доски до оси нагеля — не менее  $1,5d$ .

В случае небольшой толщины пакета сплачиваемых досок ( $2a + \Sigma c \leq 10d$ ) поперечные расстояния между нагелями могут быть несколько (до  $2d$ ) уменьшены без ущерба для прочности сопряжения. В случае же большой толщины пакета досок ( $2a + \Sigma c > 10d$ ) поперечные расстояния между осями нагелей в из-за опасности увода сверла

Ослабление поперечного сечения досок при шахматной расстановке нагелей должно быть учитываемо по действительному количеству перерезанных волокон, а не по ослаблению в одном сечении. При соблюдении этого условия можно рекомендовать шахматную расстановку как кон-



Фиг. 22. Значение коэффициента  $k$  к ф-ле (5) для трубчатых нагелей в зависимости от отношения  $\frac{d_0}{d}$

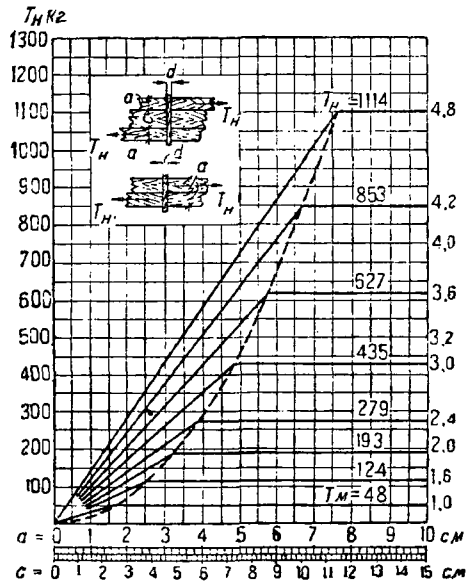


Фиг. 23. Допускаемое усилие на один срез  $T_n$  симметричного нагельного сопряжения элементов из воздушно-сухой сосны вдоль волокон на дубовых нагелях при  $a = 3,714 c_n$

должны быть увеличены против  $2d$  примерно по  $0,5d$  на каждые  $10d$  толщины пакета сверх  $10d$ .

При толстых пакетах досок ( $2a + \Sigma c > 10d$ ) продольную расстановку, так же как и поперечную, следует несколько увеличивать против  $5d$  примерно из расчета  $d$  на каждые  $10d$  избыточной (сверх  $10d$ ) толщины пакета.

Шахматная расстановка нагелей при том же количестве перерезанных волокон, что и при прямой расстановке, как правило, не дает повышения прочности сопряжения.



Фиг. 24. Допускаемое усилие на один срез  $T_n$  несимметричного нагельного сопряжения элементов из воздушно-сухой сосны вдоль волокон на дубовых нагелях

структивное мероприятие, облегчающее сверловку нагельных гнезд, особенно при нагелях малых диаметров в толстых пакетах досок или брусев.

В нагельных сопряжениях из сырых и полусухих досок с металлическими накладками возможно появление продольных трещин (по линии расстановки нагелей) при поперечной усушке дерева, поэтому широкие накладки следует заменить накладками в виде отдельных металлических полос с зазорами между ними. Параллельное применение в одном сопряжении металлических и деревянных накладок и прокладок не рекомендуется.

В случае осуществления такого сопряжения необходимо учитывать неравномерность распределения усилий согласно § 140 ТУ и П. Вообще же применение металлических накладок и прокладок нежелательно вследствие затруднительности осуществления сквозной сверловки отверстий и неизбежного несовпадения отверстий при последовательном сверлении и как следствие — неизбежности неравномерной работы и понижения коэффициента надежности сопряжения.

Все вышеприведенные расчетные данные — допускаемые напряжения, графики и таблицы допускаемых усилий — относятся к защищенным конструкциям из сухой древесины, марки соответствующей данному классу сооружения.

При наличии отступлений от этих условий, а также в случае применения леса других пород, при назначении допускаемых усилий и напряжений следует пользоваться соответствующими поправочными коэффициентами ЕП.

### 5. Примеры расчета

**Пример 1.** Требуется рассчитать и сконструировать растянутый стык на болтовых нагелях (фиг. 25). Сечение стыкуемых досок:

$$F_{\text{сечение}} = 3(16 \cdot 5) = 240 \text{ см}^2.$$

Растягивающее усилие:

$$N = 20000 \text{ кг.}$$

Принят нагель диаметром  $d = 12 \text{ мм}$ .

По ф-лам (5) и (6) или непосредственно по графику фиг. 18 находим:

$$T_n = 240 \text{ кг.}$$

Конструкция стыка показана на фиг. 25.

**Пример 2.** Требуется рассчитать и сконструировать тот же стык на трубчатых нагелях.

Принят нагель из газовой трубы:

$$d = 1,3 \text{ см; } \frac{d_0}{d} = 0,488.$$

Из графика фиг. 22 имеем:

$$k = 0,485.$$

По формулам

$$a_n = 5,98kd$$

и

$$c_n = 8,37kd$$

имеем:

$$a_n = 3,8 \text{ см; } c_n = 5,3 \text{ см}$$

(то же находим непосредственно из таблицы на стр. 106).

Следовательно:

$$T_n = kad[n_c]_a = 0,5 \cdot 5 \cdot 1,3 \cdot 80 = 260 \text{ кг.}$$

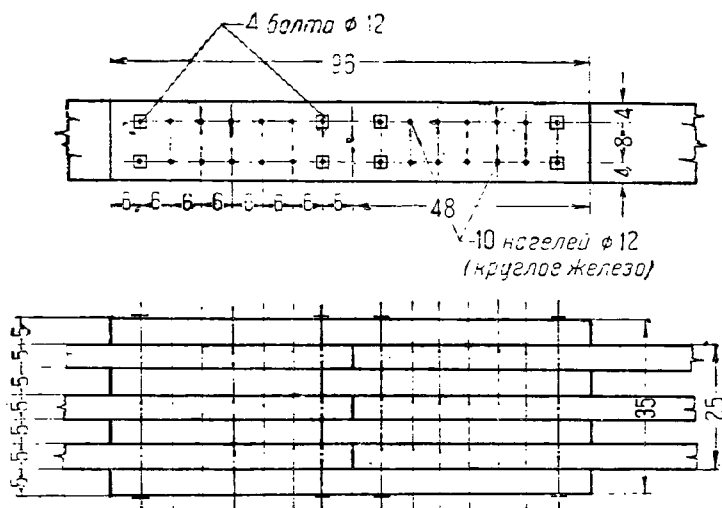
Нагели шестигранные. Требуемое количество нагелей:

$$m = \frac{N}{6T_n} = \frac{20000}{6 \cdot 260} = 12,8.$$

Принято 10 газовых трубок диаметром 13 мм и 4 болта диаметром 12 мм.

Воспринимаемое усилие:

$$N = (10 \cdot 260) \cdot 6 \div 4 \cdot 6 \cdot 240 = 21360 > 20000 \text{ кг.}$$



Фиг. 25. Растянутый стык на болтовых нагелях

Нагели шестигранные. Требуемое количество нагелей:

$$m = \frac{N}{6T_n} = \frac{20000}{6 \cdot 240} = 13,9;$$

принято 14 нагелей.

В одном сечении ставим по 2 нагеля:

$$F_{\text{сечение}} = 240 = 3 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 5 = 204 \text{ см}^2;$$

$$n = \frac{N}{F_{\text{сечение}}} = \frac{20000}{204} = 98 < 100 \text{ кг/см}^2.$$

Проверка на растяжение по опасному сечению:

$$F_{\text{сечение}} = 240 = 2 \cdot 1,2 \cdot 5 \cdot 3 = 204 \text{ см}^2;$$

$$n = \frac{20000}{204} = 98 \text{ кг/см}^2.$$

Конструкция стыка показана на фиг. 26.

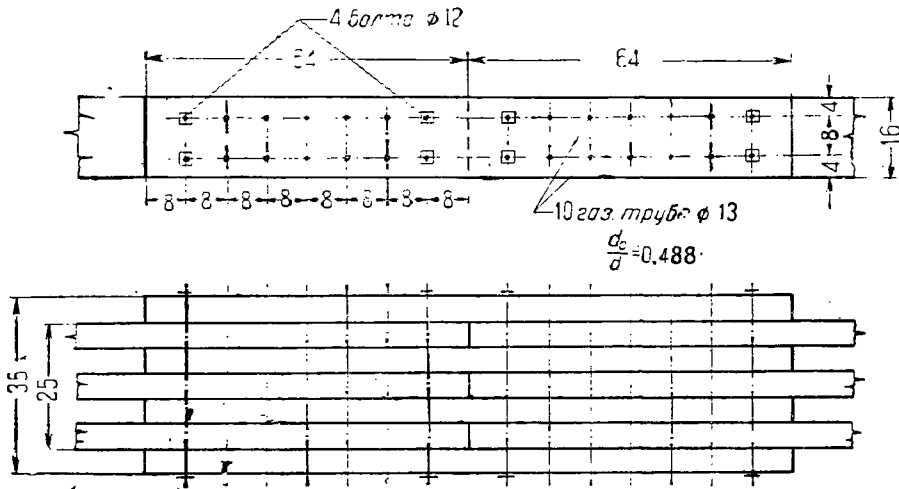
**Пример 3.** Определить допускаемое усилие на болт в сопряжении, приведенном на фиг. 27.

Допускаемое усилие на нагель из условия смятия под болтом в раскосе ( $\angle \alpha = 0^\circ$ ):

$$2T = 2 \cdot 0,5cd [n] = 2 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 1,2 \cdot 80 = 480 \text{ кг.}$$

$$= 1,428 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \sqrt{\frac{1400}{57}} = 4,25 > 4 \text{ см;}$$

$$\frac{a}{a_n} = \frac{4}{4,25} = 0,94; \quad k_a = 0,73;$$



Фиг. 26. Разънутый стык на трубчатых нагелях

Находим допускаемое усилие из условия смятия поясных досок ( $\angle \alpha = 45^\circ$ ). По графику фиг. 17 имеем  $[n]_a = 57 \text{ кг.см}^2$  и по ф-ле (8):

$$2T_n = 2 \cdot k_a ad [n]_a = 2 \cdot 0,73 \cdot 4 \cdot 1,2 \cdot 57 = 400 \text{ кг.}$$

Из условия изгиба нагеля выше было найдено:

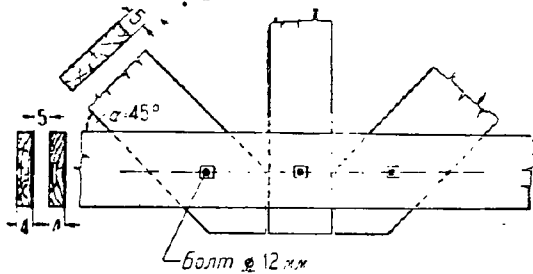
$$2T_n = 480 \text{ кг.}$$

Следовательно допускаемое усилие на нагель:

$$2T_n = 400 \text{ кг.}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Технические условия и нормы проектирования и возведения деревянных конструкций, изд. 1931 г.
2. Проф. Иванов В. Ф., Деревянные конструкции гражданских сооружений, ч. 1, Госстройиздат, 1933 г.
3. Др.-инж. Гестеши Г., Деревянные сооружения, пер. с нем., 1929 г.
4. Др.-инж. Янсон А., Современные деревянные конструкции, пер. с нем., ГТН, 1925 г.
5. Проф. Кузнецов А., Узловые сопряжения деревянных ферм, Госстройиздат, 1932 г.
6. Николай В. Л., Теория расчета нагельных соединений в деревянных конструкциях, ЦШВУ, 1935 г.
7. Сборник статей и аннотаций по деревянным конструкциям, ОПТН, Госстройиздат, 1931 г.



Фиг. 27. Узловое сопряжение на болтовых нагелях

$$a_n = 1,428kd \sqrt{\frac{1400}{[n]_a}} =$$

Доц. Г. А. ЦВИНГМАН

VIII. ГВОЗДЕВЫЕ СОПРЯЖЕНИЯ

1. Классификация гвоздей

Гвоздь представляет собой тонкий металлический нагель удлиненной формы со шляпкой на одном конце и острием на другом и обычно

Гвозди подразделяются:

1) по форме поперечного сечения (фиг. 1) — на круглые, трехгранные квадратные, прямоугольные, крестовые, звездчатого сечения;



Фиг. 1. Типы гвоздей: круглый, трехгранный, трехгранный с ребрами, квадратный, прямоугольный, крестовый, звездчатый

вгоняется в древесину без предварительного сверления гвозда.

2) по формуле основного тела гвоздя (фиг. 2) — на обыкновенные, цилиндриче-





не всегда возможно. Поэтому при применении гвоздей для сопряжения элементов из твердых пород необходимо предварительное рассверливание гнезда, причем диаметр последнего должен составлять около 0,9 диаметра гвоздя, а глубина сверления должна быть не менее 0,4 длины гвоздя. Этому же правилу следует придерживаться, забивая гвоздь, приходящийся по точной разметке на вдовой, заросший сучок, поскольку тело последнего обладает большей твердостью, чем остальная древесина.

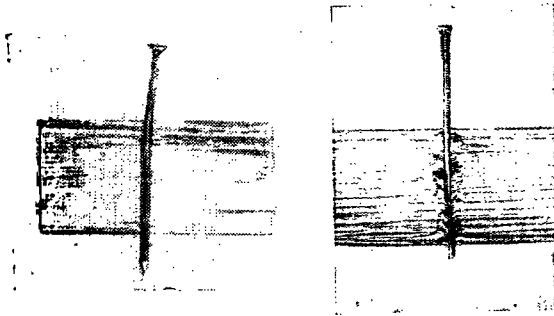
Чем больше диаметр гвоздя, тем большее сопротивление оказывает ему при забивании древесина и тем больше опасность раскалывания ее. Поэтому рекомендуется гвозди диаметром от 5 мм и более применять при условии предварительного рассверливания гнезда, диаметр которого должен быть от 0,8 до 0,9 диаметра гвоздя. Наиболее употребительные в инженерных деревянных конструкциях гвозди диаметром от 3 до 6,5 мм и длиной от 75 до 200 мм, как правило, должны забиваться в цельную древесину хвойных пород без предварительного рассверливания гнезда.

На величину деформаций внутренних волокон древесины в значительной мере оказывает влияние степень заострения гвоздя. Гвозди с притупленным концом производят значительно большее разрушение древесины, чем гвозди с острым кончиком (фиг. 5).

Во избежание растрескивания досок диаметры забиваемых гвоздей должны быть не более одной четверти толщины доски:

$$C_g \geq 4d_{2a}$$

Сбивка тонких досок толстыми гвоздями неизбежно приводит к растрескиванию досок даже при редкой расстановке гвоздей.



Фиг. 5

На опыте установлено, что на характер деформаций дерева в гвоздеом гнезде большое влияние оказывает не только толщина доски и древесная порода, но и положение (верхнее, промежуточное или крайнее) доски в конструкции. При забивке гвоздя без жестких подкладок на обратной стороне доски всегда получаются значительные отщепления волокон, при забивке же с подкладной деформации древесины имеют значительно меньшие величины.

#### 4. Расстановка гвоздей

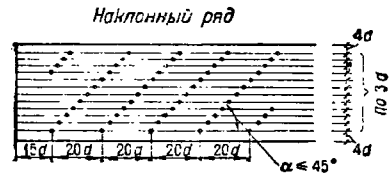
Нормально для предотвращения появления продольных трещин от расклинивающего действия гвоздей расстояние между гвоздями, забитыми

в одно волокно, должно быть для хвойных пород не менее  $20d$  при толщине доски не менее  $4d$ .

Расстояние от крайнего гвоздя до торцевого конца доски должно быть не менее  $15d$  и от края элемента поперек волокон во всех случаях не менее  $4d$ .

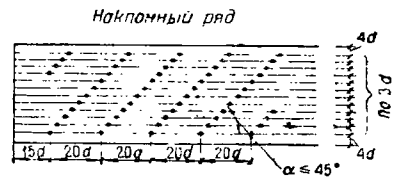
Расстановка гвоздей в гвоздевых сопряжениях применяется прямая и шахматная.

Прямая расстановка в свою очередь может быть: 1) с нормальным рядом (фиг. 6); 2) с наклонным рядом (фиг. 7).



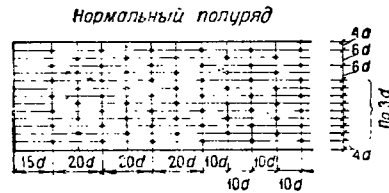
Фиг. 6. Прямая расстановка

Расстояние между гвоздями поперек волокон при нормальном ряде принимается не менее  $4d$ , при наклонном ряде с углом наклона  $\alpha \leq 45^\circ$  — не менее  $3d$ .



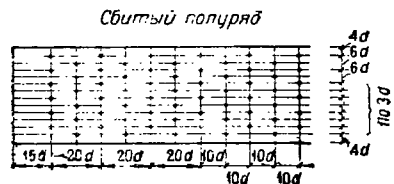
Фиг. 7. Прямая расстановка

Шахматная расстановка тоже возможна в двух вариантах: 1) с нормальным полурядом (фиг. 8), 2) со сбитым полурядом (фиг. 9).



Фиг. 8. Шахматная расстановка

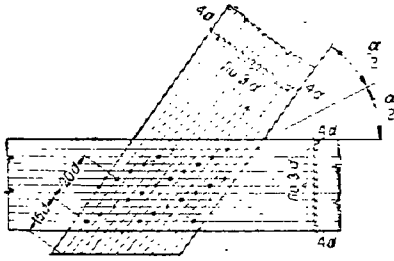
В обоих случаях расстояние между отдельными гвоздями поперек волокон в одном и том же поперечном



Фиг. 9. Шахматная расстановка

речном полуряде должно быть не менее  $6d$ , т. е. наименьшее допускаемое расстояние между продольными полурядами должно быть не менее  $3d$ . Шахматная расстановка рекомендуется в тех случаях, когда необходимо на малой площади разместить большое количество гвоздей.

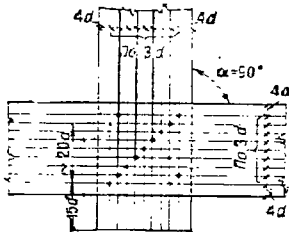
При сопряжении отдельных дощатых элементов под углом следует соблюдать приведенные выше правила в отношении каждого из сопрягаемых элементов. При этом условии особенно удобно производить расстановку гвоздей по рядам, на-



Фиг. 10. Слоевая расстановка по биссектрисе угла

правленным по биссектрисе одного из углов (фиг. 10).

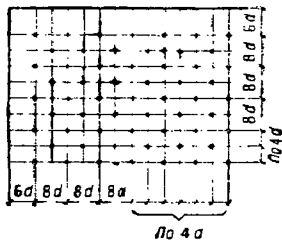
При пересечении досок под углом  $\alpha = 90^\circ$  необходимо соблюдать тот же принцип разме-



Фиг. 11. Схема расстановки при угле  $\alpha = 90^\circ$

щения гвоздей по биссектрисным рядам (фиг. 11).

Расстановка гвоздей в часто фанерных конструкциях дана на фиг. 12. Максимальный гвоздевой забой в фанере возможен при шахматной расстановке, причем расстояние первого ряда гвоздей от краев заземленной (внутренней) фанеры принимается не менее  $6d$ , а расстояния



Фиг. 12. Расстановка гвоздей в заземленных фанерных листах

вдоль волокон по обоим направлениям шпона — не более  $8d$ . Расстановка гвоздей в обычных дерево-фанерных конструкциях подчиняется нормам расстановки, обязательным для конструкций как из цельного дерева, так и из фанеры.

### 5. Расчет гвоздевых сопряжений

Материал гвоздя обладает большой прочностью главным образом в результате холодной протяжки проволоки.

Для гвоздей критическое напряжение на изгиб:

$$n_u = \text{от } 9\,000 \text{ до } 12\,000 \text{ кг/см}^2.$$

Допускаемое напряжение на изгиб:

$$[n_u] = 1\,800 \text{ кг/см}^2.$$

В деревянных конструкциях гвозди работают: 1) на сдвиг соединения по шву и 2) на выдергивание гвоздя.

#### 1) Расчет на сдвиг

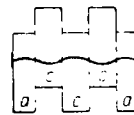
При расчете гвоздевых сопряжений на сдвиг гвозди рассматриваются как соединения нагельного типа. Поэтому работа гвоздя в данном случае может быть сравнена (как и работа всех нагелей) с работой балки на изгибом основании. Гвозди рассчитываются по общепринятой формуле для нагелей; максимальное усилие, воспринимаемое одним срезом гвоздя:

$$T_{10} = k_{10} d^2 \sqrt{[n_u]_{10} [u_c]_{10}} \quad (1)$$

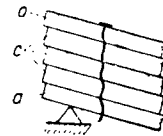
где  $d$  — диаметр гвоздя в см;

$[n_u]_{10}$  — допускаемое напряжение на изгиб гвоздя, равное  $1\,800 \text{ кг/см}^2$ ;

$[u_c]_{10}$  — допускаемое напряжение на смятие



Фиг. 13а. Симметричное сопряжение



Фиг. 13б. Несимметричное сопряжение

древесины в гвоздевом соединении, принимаемое независимо от угла смятия для воздушно-сухой сосны равным  $80 \text{ кг/см}^2$ , для дуба —  $110 \text{ кг/см}^2$ ;  $k_{10}$  — коэффициент, зависящий от типа нагельного сопряжения; для цилиндрического гвоздя круглого поперечного сечения  $k_{10} = 0,8$ , в то время как для обыкновенных нагелей  $k_{10} = 0,5$ . Такое значение коэффициента  $k$  для гвоздей обусловлено:

1) малой величиной диаметра гвоздя и нагельного гнезда;

2) плотным заполнением нагельного гнезда при забивке гвоздя.

Подставляя в формулу указанные значения, имеем:

$$T_{10} = 0,8d^2 \cdot \sqrt{1\,800 \cdot 80} = 303,55d^2 \approx 304d^2. \quad (2)$$

В работе гвоздевых сопряжений на сдвиг (на срез) необходимо различать, как и во всех нагельных сопряжениях, симметричные сопряжения и несимметричные сопряжения (фиг. 13).

При недостаточных (меньше нормальных) толщинах сопрягаемых элементов следует производить предварительную проверку сопряжения, исходя из фактических размеров элементов. Обозначив буквами  $a$  — толщины крайних элементов и  $c$  — толщины средних элементов, имеем для определения величины  $T_{10}$  формулы:

для симметричных сопряжений:

$$T_{10} = 0,7a [n_u]_{10} \text{ при } a \leq 5,4d; \quad (3)$$

$$T_{10} = 0,5cd [n_u]_{10} \text{ при } c \leq 7,6d; \quad (4)$$

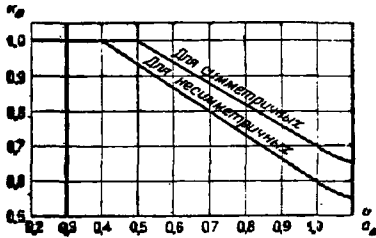
для несимметричных сопряжений:

$$T_{1c} = 0,6ad [n_c]_{1c} \text{ при } a \leq 6,3d; \quad (5)$$

$$T_{1c} = 0,4cd [n_c]_{1c} \text{ при } c \leq 9,5d. \quad (6)$$

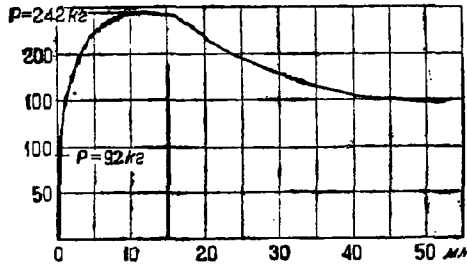
Если недостаточна толщина только крайних досок  $a$  при нормальном или избыточном защемлении гвоздя в средних досках, то в симметрич-

сопряжения как весьма плотного, не имеющего рыхлых деформаций и обладающего значительной податливостью. Крутая линия диаграммы от нуля до предела пропорциональности и выше до предела упругости, критическая точка при деформациях, превышающих 10 мм, и наконец плавный наклон кривой к оси абсцисс при дефор-

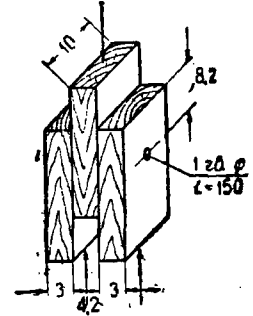


Фиг. 14

ных сопряжениях коэффициент  $k_n = 0,7$  следует увеличивать согласно диаграмме фиг. 14, где



а)



б)

Фиг. 18. Один двухрезный гвоздь. Величина разрушающего усилия 242 кг. Величина расчетного допускаемого усилия 92 кг. Запас прочности  $\frac{242}{92} = 2,65$

разрушающего усилия 92 кг. Запас



Фиг. 15.



Фиг. 16

$a$  — действительная толщина крайней доски,  $a_n = 5,4 d$  — нормальная толщина крайней доски.

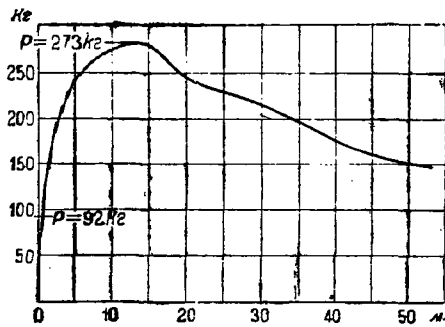
В несимметричных сопряжениях коэффициент  $k_n = 0,6$  следует увеличивать согласно той же диаграмме фиг. 14.



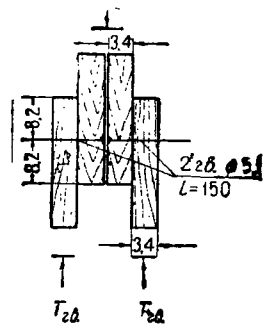
Фиг. 17

Характер деформаций древесины и самих гвоздей при их работе на срез иллюстрируется фиг. 15, 16 и 17.

Диаграммы деформаций для двух контрольных образцов изображены на фиг. 18 а и б, 19 а и б. Эти диаграммы выявляют работу гвоздевого



а)



б)

Фиг. 19. Два однорезных гвоздя. Величина разрушающего усилия 273 кг. Величина расчетного допускаемого усилия 92 кг. Запас прочности  $\frac{273}{92} = 2,95$

мациях, доходящих до 5 см и более, свидетельствуют о большой работе, затрачиваемой на разрушение гвоздевого сопряжения. Большая надежность и равномерность работы многих параллельно работающих гвоздей подтверждаются на практике осуществляемых гвоздевых конструкций. Необходимо отметить, что с течением времени при переменной влажности и температуре и при непрерывном предельном нагружении гвоздевых сопряжений в них происходят довольно значительные пластические деформации.

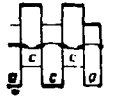
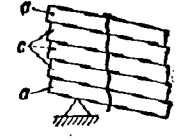
Опыт показывает также, что нормально забитые в древесину гвозди одинаково хорошо сопротивляются сдвигающему усилию независимо от угла наклона усилия к направлению волокон.

Вследствие значительного обмятия древесины поперек волокон при усилии поперек волокон деформации несколько больше, чем при усилии вдоль волокон.

Для практического расчета на сдвиг гвоздевых сопряжений элементов из воздушно-сухой сосны может служить табл. 2, состоящая из четырех

Таблица 2

Данные для проектирования гвоздевых сопряжений

| Размеры гвоздей<br>(ОСТ 530) |      |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |          | Диаметр<br>метр | Сила $T_{20}$<br>на 1<br>срез<br>в кг | Толщины сплавляемых элементов<br>в сопряжениях |   |   |                   | Расстановка гвоздей  |                     |  |  |    |  |
|------------------------------|------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----------------|---------------------------------------|--|---|---|-------------------|----------------------|---------------------|--|--|----|--|
| Длина в мм                   |      |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |          |                 |                                       | $T_{20} \rightarrow 304 d$                     | симметричных  |   | несимметричных    |                      | вдоль волокон       |  | поперек волокон                                |    |  |
|                              |      |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |          |                 |                                       |  |  |  | между<br>гвоздями | от<br>конца<br>доски | от<br>края<br>доски | при<br>прямой<br>рас-<br>стано-<br>вке | при<br>шах-<br>матной<br>рас-<br>стано-<br>вке |    |  |
| 50                           | 60   | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | $d$ в мм | $a = 5,4 d$     | $c = 7,6 d$                           | $a = 6,3 d$                                    | $c = 9,5 d$   | $30d$   | $15d$             | $4d$                 | $4d$                | $3d$                                   |  |    |  |
| 50                           | (60) |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |          | 2,0             | 13                                    | 11   | 15  | 13  | 18                | 40                   | 30                  | 8                                      | 8  | 6  |  |
| 50                           | 60   |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |          | 2,3             | 16                                    | 12   | 17  | 14  | 22                | 46                   | 34                  | 9                                      | 9  | 7  |  |
| 50                           | 60   | 70 |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |          | 2,6             | 21                                    | 14   | 20  | 16  | 25                | 52                   | 39                  | 10                                     | 10   | 8  |  |
| (50)                         | 60   | 70 | 80 |    |     |     |     |     |     |     |     |     |          | 3,0             | 27                                    | 16   | 23  | 19  | 28                | 60                   | 45                  | 12                                     | 12   | 9  |  |
|                              | (60) | 70 | 80 | 90 |     |     |     |     |     |     |     |     |          | 3,5             | 37                                    | 19   | 27  | 22  | 33                | 70                   | 52                  | 14                                     | 14   | 10 |  |
|                              |      |    | 80 | 90 | 100 | 110 |     |     |     |     |     |     |          | 4,0             | 49                                    | 22   | 30  | 25  | 38                | 80                   | 60                  | 16                                     | 16   | 12 |  |
|                              |      |    |    | 90 | 100 | 110 | 125 |     |     |     |     |     |          | 4,5             | 62                                    | 24   | 34  | 28  | 43                | 90                   | 67                  | 18                                     | 18   | 13 |  |
|                              |      |    |    |    | 100 | 110 | 125 | 150 |     |     |     |     |          | 5,0             | 76                                    | 27   | 38  | 31  | 47                | 100                  | 75                  | 20                                     | 20   | 15 |  |
|                              |      |    |    |    |     |     | 125 | 150 | 175 |     |     |     |          | 5,5             | 92                                    | 30   | 42  | 34  | 52                | 110                  | 82                  | 22                                     | 22   | 16 |  |
|                              |      |    |    |    |     |     |     | 150 | 175 | 200 |     |     |          | 6,0             | 110                                   | 33   | 46  | 38  | 57                | 120                  | 90                  | 24                                     | 24   | 18 |  |
|                              |      |    |    |    |     |     |     |     | 175 | 200 | 225 |     |          | 6,5             | 128                                   | 35   | 49  | 41  | 62                | 130                  | 97                  | 26                                     | 26   | 20 |  |
|                              |      |    |    |    |     |     |     |     |     |     | 225 | 250 |          | 7,0             | 150                                   | 38   | 53  | 44  | 66                | 140                  | 105                 | 28                                     | 28   | 21 |  |
|                              |      |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     | 250 |          | 8,0             | 195                                   | 43   | 61  | 50  | 76                | 160                  | 120                 | 32                                     | 22   | 24 |  |

основных частей. В первой части указан сортмент гвоздей (по диаметрам и длинам, ОСТ 530). Вторая часть (одна графа) показывает величину силы  $T_{10}$  в килограммах, допускаемую на один срез гвоздя в зависимости от его диаметра при нормальных толщинах досок. В третьей части приведены нормальные соотношения между толщинами крайних (а) и средних (с) элементов как для симметричных, так и для несимметричных сопряжений. В четвертой части дана минимальная расстановка гвоздей при толщине элементов не менее  $4d$ .

Расчет гвоздевых сопряжений можно производить по номограмме фиг. 20. По номограмме

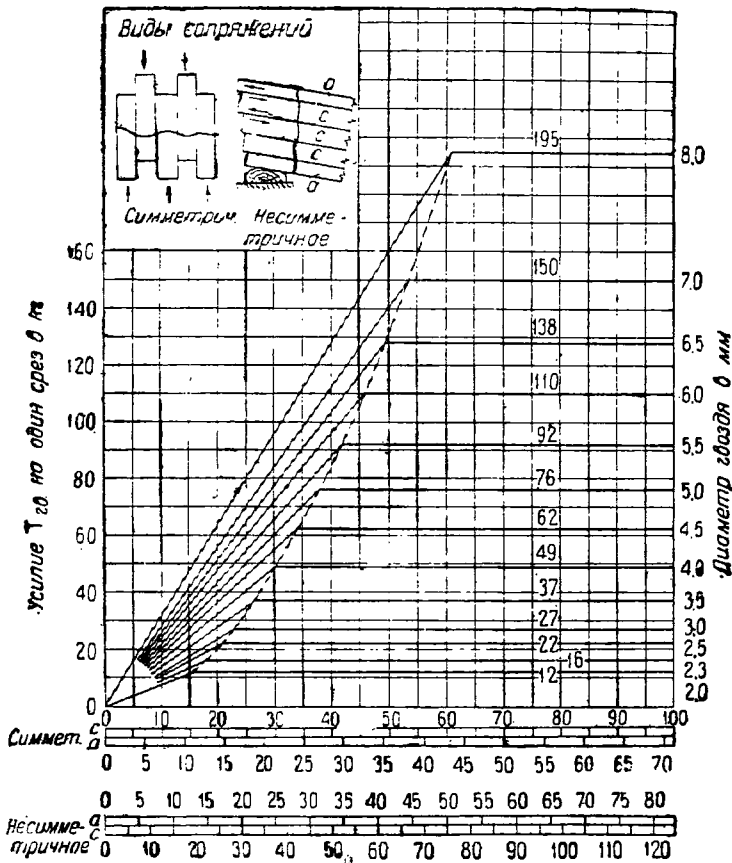
усилие на один срез гвоздя в фанерных конструкциях надлежит определять по формулам: при односрезных листах:

$$T_{10} = c_{\phi} d [n_{c}]_{10}^{\phi} \quad (7)$$

при двухсрезных листах:

$$T_{10} = 0,5 c_{\phi} d [n_{c}]_{10}^{\phi} \quad (8)$$

В стыках на металлических накладках и прокладках<sup>1</sup> принимается следующее отношение тол-



Фиг. 20

фиг. 20 можно рассчитывать гвоздевые сопряжения и при недостаточных толщинах досок.

Работа гвоздевого нагеля в фанере характеризуется в частности повышенным сопротивлением последней по сравнению с цельной древесиной.

Допускаемое напряжение на смятие фанеры в гвоздевом гнезде:

$$[n_{c}]_{10}^{\phi} = 160 \text{ кг/см}^2.$$

Ввиду малой толщины фанеры допускаемое

напряжение металлических листов, пробиваемых непосредственно гвоздем, к его диаметру.

Металлическая накладка свободно пробивается гвоздем, когда толщина ее  $s_m$  не более  $0,2d$  (фиг. 21, стр. 116).

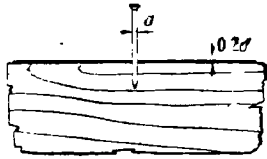
Внутренняя одиночная металлическая прокладка свободно пробивается гвоздем, когда толщина ее не более  $0,3d$  и толщина накладной доски не менее  $(4-6)d$  для гвоздей диаметром  $d \leq 4 \text{ мм}$

<sup>1</sup> См. «Двухавровые гвоздевые балки с перекрестной стянкой», стр. 216.

и не менее  $(6-8)d$  для гвоздей диаметром  $d \geq 4$  мм (фиг. 22).

Внутренняя парная металлическая прокладка пробивается гвоздем, когда толщина ее не более  $2 \cdot (0,2d)$ , а толщина накладных досок та же, что и для одиночной прокладки (фиг. 23).

В рассматриваемых стыках работа гвоздя в деревянных частях узлового сопряжения учиты-



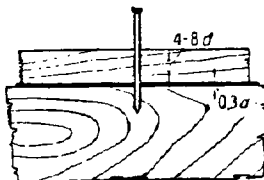
Фиг. 21. Металлическая накладка

вается по обычным приведенным выше формулам и таблицам. Металлические же накладки и прокладки проверяются на смятие и на растяжение.

Расчет на смятие производится по формуле:

$$T_{сж} = d \cdot n_{сж}^{сж} \quad (9)$$

где  $T_{сж}$  — усилие, передающееся от гвоздя



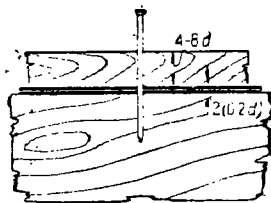
Фиг. 22. Металлическая прокладка

элементу и равное усилию на один срез для накладок и на два среза для прокладок;

$d$  — диаметр гвоздя в см;

$c_{сж}$  — толщина металлической накладки или прокладки в см;

$$[n_{сж}]^{сж} = 1000 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 23. Металлическая прокладка парная

Допускаемое напряжение на смятие краев пробитого гвоздем гнезда в железе снижено потому, что при пробивке металлического тонкого листа получается неровная поверхность гнезда, с рваными краями, склонными деформироваться под влиянием нагрузки (фиг. 27).

В сверленных гнездах  $[n_{сж}]^{сж} = 2000 \text{ кг/см}^2$ .

Расчет на растяжение (на разрыв) металлических накладок и прокладок из тонкого листового железа производится для ослабленного сечения с допускаемым напряжением железа  $[n_{+}]^{сж} = 1400 \text{ кг/см}^2$  и проверяется по обычной формуле:

$$N_{+} = [n_{+}]^{сж} F_{нетто} \quad (10)$$

При расчете на растяжение надо различать отверстия сверленные (при толстых накладках и прокладках) и отверстия, непосредственно пробитые гвоздем (при более тонких).

В сверленных отверстиях ослабление принимается равным:

$$F_{осл} = c_{сж} d_{сж} \quad (11)$$

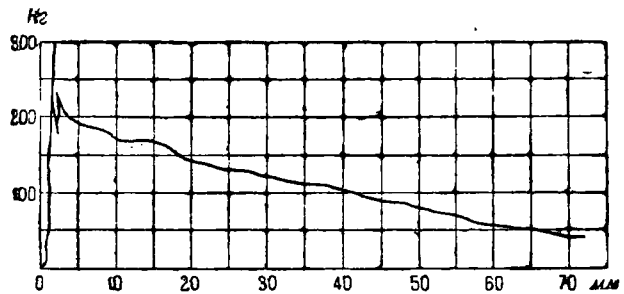
В пробитых отверстиях ослабление металлических прокладок и накладок принимается равным:

$$F_{осл} = 1,5 c_{сж} d \quad (12)$$

Применять чрезмерно тонкие листы железа не рекомендуется, так как в них наблюдаются большие деформации и увеличивается опасность ржавления.

## 2) Расчет на выдергивание

Вторая форма работы гвоздя в конструкциях — его «сопротивление выдергиванию», т. е. способ-



Фиг. 24. Диаграмма работы гвоздя на выдергивание

ность плотно держаться в древесине благодаря трению, развиваемому по его поверхности.

Расчет гвоздей на выдергивание производится по формуле:

$$[t] = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi d l_1} \quad (13)$$

где  $t$  — допускаемое напряжение сцепления с древесиной поверхности выдергиваемой части гвоздя, равное  $5 \text{ кг/см}^2$ ;

$P$  — выдергивающее усилие;

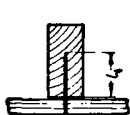
$d$  — диаметр гвоздя в см;

$l_1$  — длина заземленной цилиндрической части гвоздя без учета длины конца (острия), равной  $1,5d$ .

На фиг. 24 изображена диаграмма деформаций гвоздевого сопряжения при выдергивании гвоздей диаметром  $d = 4,75$  мм.

Первые деформации в начале испытания наступают от обмятия головки гвоздя в отверстии из металлической шайбы — «захвата». Затем кривая идет почти вертикально вверх и при достижении критической точки внезапно падает. Характерный получающийся при этом вилзгаг обусловлен инерцией машины. Далее кривая падает, постепенно приближаясь к оси абсцисс.

Ввиду того что гвозди больших диаметров сильнее колот древесину и из-за этого в инженерных конструкциях применяются сравнительно редко, принято рассчитывать гвозди диаметром более 5 мм так же, как гвозди диаметром 5 мм. Сопротивление выдергиванию 1 пог. см гвоздя диаметром более 5—8 мм принимается равным постоянной величине 7,8 кг.



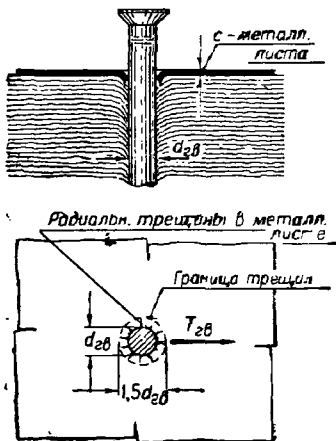
Фиг. 25



Фиг. 26

Учет работы гвоздя на выдергивание допускается лишь при достаточном заземлении части  $l_1$  гвоздя в древесине (фиг. 25 и 26). Как показали опыты, должно быть  $l_1 \geq (6-8) d$ .

Расчет гвоздей на выдергивание может производиться по табл. 3, где даны допускаемые усилия (в килограммах) на выдергивание одного гвоздя, забитого в воздушно-сухую сосну поперек волокон, в зависимости от глубины заземления гвоздя (в миллиметрах).



Фиг. 27

В верхней горизонтальной графе таблицы помещены диаметры гвоздей (в миллиметрах), в левом крайнем столбце указаны длины  $l_1$  (в миллиметрах) заземления концов гвоздей. Во второй горизонтальной строке дано сопротивление выдергиванию 1 пог. см заземленной части гвоздя в зависимости от его диаметра.

При забивке в торец допускаемые усилия снижаются умножением на 0,6.

Длина гвоздя, как правило, должна превышать толщину пробиваемой доски в 2—3 раза. При большей длине заземленной части гвоздя допускаемая нагрузка может быть увеличена только в случае применения специальных прокладываемых под шляпку гвоздя шайб, предотвращающих продавливание доски головкой гвоздя.

Забивка гвоздей в торец не рекомендуется, так как обилие трещин в торце и легкость их возникновения снижают надежность работы забитых в торец гвоздей.

Таблица 3

Расчет гвоздевых сопряжений на выдергивание

| $d$ в мм<br>$l_1$ в мм | 2,0 | 2,3 | 2,6 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 10                     | 3,2 | 3,6 | 4,1 | 4,7 | 5,5 | 6,3 | 7,1 | 7,8 |
| 20                     | 6   | 7   |     |     |     |     |     |     |
| 30                     | 9   | 11  | 12  | 14  | 16  |     |     |     |
| 40                     | 12  | 14  | 16  | 18  | 22  | 25  | 28  | 31  |
| 50                     | 16  | 18  | 20  | 23  | 27  | 31  | 35  | 39  |
| 60                     |     | 21  | 24  | 28  | 33  | 37  | 42  | 47  |
| 70                     |     |     | 28  | 33  | 39  | 44  | 49  | 54  |
| 80                     |     |     |     | 37  | 44  | 50  | 56  | 62  |
| 90                     |     |     |     |     | 50  | 56  | 64  | 70  |
| 100                    |     |     |     |     |     | 63  | 71  | 78  |
| 110                    |     |     |     |     |     | 69  | 78  | 86  |
| 120                    |     |     |     |     |     |     | 85  | 94  |
| 130                    |     |     |     |     |     |     |     | 102 |
| 140                    |     |     |     |     |     |     |     | 109 |
| 150                    |     |     |     |     |     |     |     | 117 |

Работа гвоздя на выдергивание в большой мере зависит от состояния поверхности гвоздя (например поверхность гвоздя может быть гладкой, шероховатой, покрытой машинным маслом или окалиной, ржавленной или оцинкованной и т. д.). Основываясь на произведенных испытаниях, можно считать, что гвозди с шероховатой поверхностью, т. е. оцинкованные, немного ржавые и с неровной, слегка ребристой поверхностью работают на выдергивание лучше, чем гладкие только что изготовленные.

В твердых породах, требующих рассверливания гнезд, работа гвоздей на выдергивание не учитывается.

## 6. Производство работ

Разбивка гвоздей всегда должна производиться по вышеприведенным правилам и в точности соответствовать чертежу; при массовом производстве рекомендуется применять специально сделанные из фанеры или же из кровельного железа шаблоны.

Забивка гвоздей производится молотком или кувалдой весом, в 30—60 раз превышающим вес забиваемого гвоздя.

При разметке и забивке гвоздей необходимо учитывать местные пороки досок: гвозди, проходящие по проектной разбивке на сучки, трещины или же стыки досок должны быть смещены с наименьшим нарушением норм расстановки. Головка забитого гвоздя должна находиться заподлицо с поверхностью доски. Чрезмерное углубление головки гвоздя, обмятие поверхности доски неправильными ударами молотка, а также



неполная забивка гвоздя не допускаются. Все гвозди, прогнутые при забивке, должны быть удалены и заменены новыми.

Сшивка гвоздями многослойных элементов производится после стяжки панеля досок помощью болтов или специальных сжимов.

Удаление гвоздей должно производиться без повреждения поверхности доски, при помощи клещей или гвоздедера с применением подкладок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карташев К. Н., Испытания гвоздевых соединений. Изв. Сиб. технолог. ин-та, т. 50, вып. 3, 1929 г.

2. Нехлюдов, Опыты с гвоздевыми соединениями при усилении гвоздевых дощатых арок в Бреславльском крытом рынке, «Стройиндустрия» № 5, 1933 г.

3. Павлов, Усовершенствования гвоздевых соединений, «ЗОТ», Лесная промышленность № 4, 1932 г.

4. Сиваш В. Л., Гвозди в деревянных конструкциях, «Плотник и столяр» № 5, 1931 г.

5. Цвингмай Г. А., Гвоздевые сопряжения, «Плотник и столяр» № 7, 1932 г.

6. Цвингман Г. А., Применение проволоочных гвоздей в инженерных деревянных конструкциях, «Строитель» № 6, 1934 г.

7. Егоров Е., Расчет гвоздевых сопряжений. Сборник статей и аннотаций по дерев. констр., М.-Л. 1934 г.

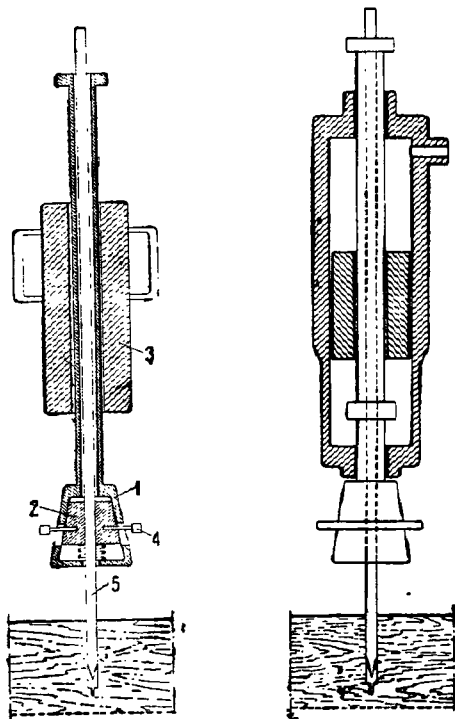
Инж. Н. Ф. КОТОВ

### IX. КРУПНОСОРТНЫЕ ГВОЗДИ

Крупносортовые гвозди длиной до 4 000 мм и диаметром до 25 мм позволяют сколачивать пакеты из досок, брусьев и бревен общей толщиной до 4 000 мм, обеспечивая высокую прочность,

Крупносортовые гвозди могут изготавливаться следующих форм и размеров поперечного сечения:

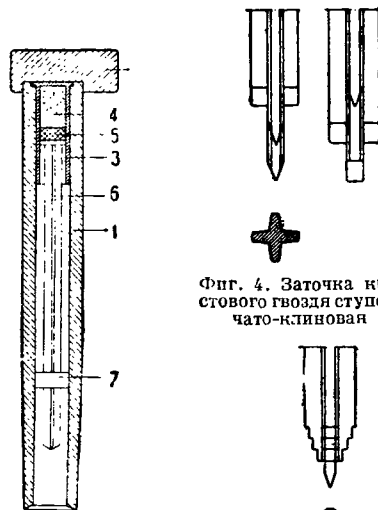
- 1) круглые диаметром от 8 до 16 мм;
- 2) двутавровые типа «Нейс» 12 × 12 и 14 × 14 мм;



Фиг. 1. Молоток для ручной забивки крупносортовых гвоздей

Фиг. 2. Пневматический молоток для забивки крупносортовых гвоздей

большую плотность и достаточную жесткость соединений, и потому несомненно должны получить в будущем большое распространение. Областью применения крупносортовых гвоздей являются конструкции различного назначения из толстых досок, брусьев и бревен: мосты, своды-оболочки, стропильные фермы, балки, прогоны, временные и гидротехнические сооружения, деревянные суда, баржи и т. п.



Фиг. 3. Гвоздемент для пороховой забивки крупносортовых гвоздей

Фиг. 4. Заточка крестового гвоздя ступенчато-клиновидная

Фиг. 5. Заточка крестового гвоздя ступенчато-круговая

- 3) крестовые тонкоперые от 12 до 19 мм;
- 4) крестовые тяжелые от 12 до 19 мм;
- 5) трубчатые диаметром от 16 до 25 мм;
- 6) квадратные 10 × 10 и 12 × 12 мм.

Временное сопротивление сдвигу сопряжений на крупносортовых гвоздях по предварительным данным близко к временному сопротивлению сопряжений на болтовых нагелях соответствующего диаметра.

Норм для расчета конструкций на крупносортовых гвоздях еще не имеется.

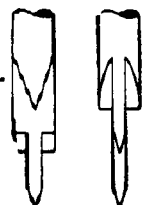
Забивка гвоздей может производиться различными способами:

1. Забивка кувалдой возможна лишь для гвоздей длиной не более 300—400 мм. При большей длине гвоздя заколачиванию препятствуют продольный изгиб гвоздя и дрожание его головки.

2. Забивка ручным специальным инструментом, работающим от усилия рабочего или с помощью пневматического либо электрического инструмента, возможна до глубины в 1000 мм.

Принцип устройства молотка для крупносортовых гвоздей показан на фиг. 1 и заключается в следующем.

В конусном станане 1 помещены кулачки 2, зажимающие гвоздь 5. При ударе бабкой 3 по станану вся система перемещается и вколачивает гвоздь; туго зажатый в кулачках стержень гвоздя проходит через весь молоток. На нижней



Фиг. 6. Заточка круглых гвоздей ступенчато-клиновидная



Фиг. 7. Заточка круглых гвоздей ступенчато-кругловая



Фиг. 8. Заточка крестового гвоздя для пороховой забивки

части станана имеется кольцо 4, разжимающее кулачки для освобождения гвоздя.

По мере углубления гвоздя в древесину необходимо время от времени перемещать молоток в направлении, обратном забивке, что достигается ударом бабки по верхнему фланцу трубки.

Электрические и пневматические молотки (фиг. 2) устроены по тому же принципу.

3. Забивка крестовых и двутавровых гвоздей, вес которых не превышает 500 г и длина 500 мм, может производиться пороховым зарядом (одним выстрелом) с помощью специального ручного инструмента — гвоздемента (фиг. 3), сконструированного по принципу мелкокалиберных пушек.

Гвоздемет состоит из ствола 1 и затвора 2, удерживающего гильзу 3, заряженную порохом 4 с пыжом 5. Для направления гвоздя 6 в стволе служит направляющий хомутик 7, надеваемый на гвоздь при зарядке гвоздемета.

Каждый способ забивки имеет свои достоинства и недостатки. Для первых двух способов требуются специальные заточки, изображенные на фиг. 4—7, хотя и сложные, но вполне осуществимые при массовом изготовлении нагелей. Для скоростной забивки при помощи порохового заряда необходимая заточка гвоздя значительно проще (фиг. 8), но гвоздь должен иметь шляпку, точно калиброванную по стволу и гильзе. Зарядка гильз должна быть выполнена с большой тщательностью.

Регулировать заряд соответственно необходимой глубине забивки можно только приблизительно. На глубину забивки весьма влияют твердость древесины и ее влажность. Так, при одинаковых зарядах и гвоздях длиной 400 мм гвоздь забивается в сухую древесину на все 400 мм, в сырую же — только на 300 мм. При стрельбе черным охотничьим порошком выстрелы при одинаковых условиях получаются все же разной мощности вследствие различно протекающего процесса воспламенения пороха. При стрельбе бездымным порохом забивка получается однороднее, однако высокое давление газов (2500—3000 ат) требует в этом случае особой тщательности заряжения гильзы. Заряд должен быть рассчитан на самые тяжелые условия прохождения гвоздя; избыток энергии нормально должен погашаться упором шляпки гвоздя, уплотняющим пакет сплавляемых досок.

При огнестрельном способе забивания гнездо, пробитое гвоздем, значительно плотнее, чем при механическом. Повидимому скоростной (пороховой) способ забивки найдет применение только в специальных условиях.

Инж. Н. Ф. БОЧАРОВ

## Х. КЛЕЕННЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ ДЕТАЛИ В КОНСТРУКЦИЯХ

### 1. Введение

Применение клееных деревянных деталей в строительном деле издавна привлекало внимание широких кругов строителей, позволяя:

4) использовать значительное количество отходов древесины;

5) получить клееные детали высокой и равномерной прочности, в то же время удовлетворяющие благодаря беспустотности требованиям пожарной безопасности;

6) экономно применять сучковатую древесину и т. д.

Одним до последнего времени клееные детали находили относительно небольшое применение главным образом в конструкциях дверей, перегородок, оконных переплетов и других мелких деталей внутреннего оборудования зданий. Основными причинами, мешавшими применению клееных деталей в ответственных конструкциях перекрытий и колонн, являлись, с одной стороны, недостаточное знакомство с качествами клеющих материалов, и с другой, — отсутствие научно обоснованной методики склеивания древесины.

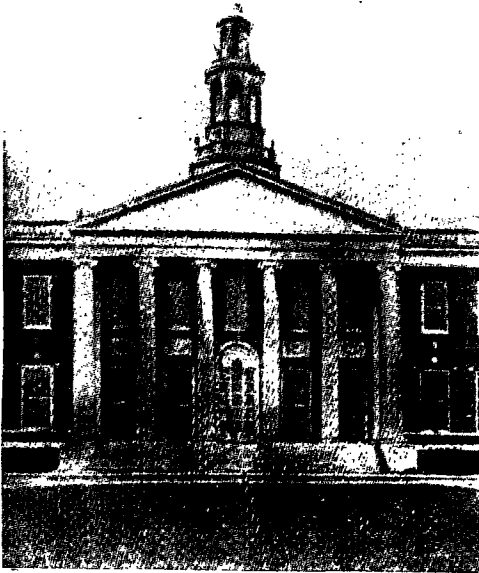
Широкие научные исследования в обеих областях, проведенные в связи с изготовлением самолетов, доказали несомненную возможность применения клееных деталей в весьма ответственных конструкциях, работающих в самых разнообразных атмосферных условиях.

Первые опыты применения клееных деталей в балочных перекрытиях системы Гетцера в Швейцарии и Германии и клееных деревянных колонн в Америке (фиг. 1 и 2) доказали полную целесообразность применения новых видов конструкций, позволяющих перейти к массовому заводскому их изготовлению при значительной экономии сырья.

### 2. Способы изготовления отдельных деталей

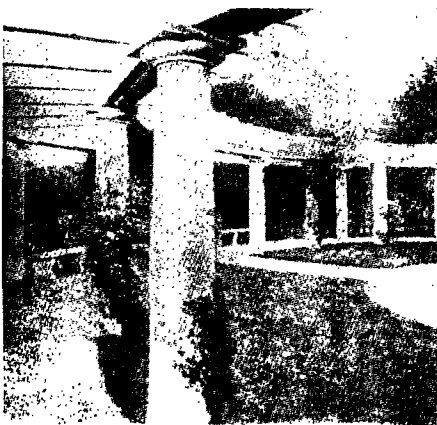
В правильно выполненных конструкциях (за исключением фанерных) древесина должна склеиваться в доль волокон. Детали, склеенные вдоль волокон, обладают высокой прочностью, не уступающей, а в иных случаях даже превышающей прочность деталей из цельной древесины.

Схемы расположения отдельных элементов и клееных деталей даны на фиг. 3. Способ изготовления фигурных деталей высокой прочности дан на фиг. 4. Конструкция «слоистых» деталей



Фиг. 1. Одно из зданий Хорватского университета (США), 12-м колонны которого представляют деревянные конструкции на казенном клею

допускает широкое использование сильно сучковатой древесины. Конечно количество допускаемых сучков и качество их определяются в каждом отдельном случае конструкцией и характером нагрузок на нее. Особым преимуществом слой-

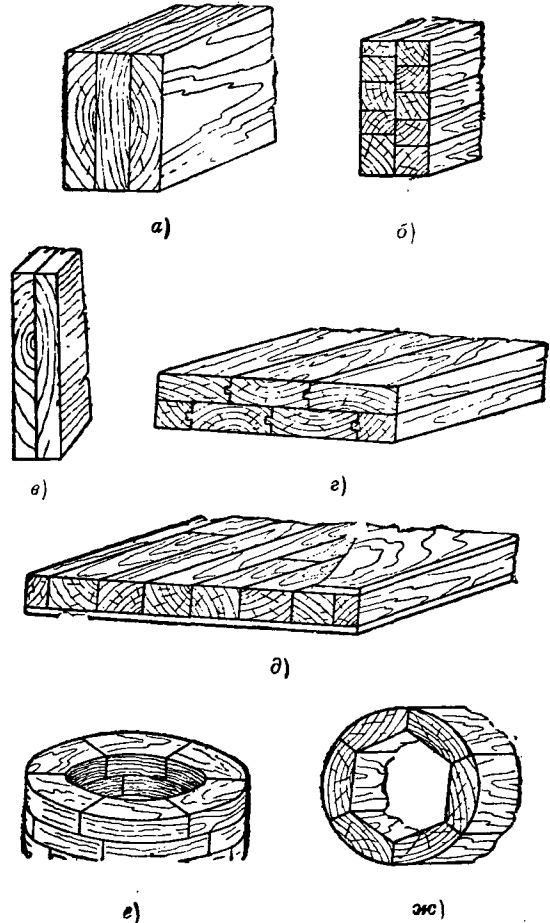


Фиг. 2. Открытая колоннада из дерева на казенном клею (США)

чатых клееных конструкций является возможность использовать недомерки и другие отходы древесины для наращивания элементов конструкции. Проще всего наращивание производится в виде торцевых и полуторцевых стыков. Простые торцевые стыки (фиг. 5, а), как весьма

слабые применяются исключительно в конструкциях, не несущих нагрузок (щиты двери).

Зубчатые соединения (фиг. 5, б) и другие аналогичные им требуют тщательной подгонки отдельных выступов. Практическая трудность выполнения этой задачи заставляет отнести их по



Фиг. 3. Схемы расположения отдельных элементов в конструкциях на клею

прочности к стыкам типа «а», крепость которых на растяжение не превосходит  $100-150 \text{ кг/см}^2$ , на статический изгиб — не более  $12-20 \text{ кг/см}^2$ .

Соединения «на ус» (фиг. 5, в, г) при определенном отношении между толщиной  $m$  склеиваемой

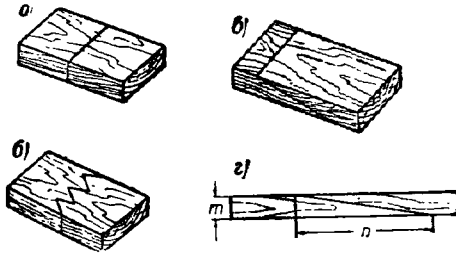


Фиг. 4. Изготовление фигурных клееных деталей

детали и длиной  $n$  склеиваемой поверхности позволяют получить клееную деталь, не уступающую по прочности детали из цельной древесины. Отношения  $m : n = 1 : 10$  для мягких пород и  $m : n = 1 : 15$  для твердых пород дают

стык, равнопрочный по изгибу с цельной древесиной.

Полуторцевые стыки (фиг. 6) только на клею — неудовлетворительны; обычно их усиливают шпонами, шпильками, уголками и другими креплениями.



Фиг. 5. Торцевые соединения

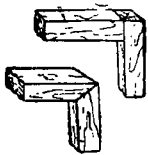
### 3. Клей для склеивания древесины

Применяемые в настоящее время клеющие материалы для древесины отличаются большим разнообразием как по своим техническим свойствам, так и по методике применения. Выбор того или иного клея должен быть сделан с учетом условий работы детали в эксплуатации и технических возможностей при производстве работ.

Ниже приведен перечень клеющих материалов с подразделением их по группам в зависимости от исходного сырья и технических свойств.

**Группа 1. Животные клеи.** Эти клеи получают из шкур (мездровые) и костей (костяные) домашних животных и рыб; имеют форму пластинок, порошка, лома и зерен. Перед употреблением замачиваются в воде, в которой растворяются при нагревании.

Животные клеи принадлежат к разряду горячих клеев, применение которых требует поддержания раствора в горячем состоянии (при температуре 70—80° Ц).



Фиг. 6. Полуторцевые соединения

Клеи этой группы, особенно мездровые, обладают высокой связывающей силой. Однако весьма малая водостойкость заставляет ограничить их применение в конструкциях, работающих на открытом воздухе или в помещениях с высокой влажностью. Кроме того

большим недостатком этих клеев является их способность быстро гнивать, поскольку без примеси антисептиков такой клей является прекрасной питательной средой для бактерий.

**Группа 2. Казеиновые и растительные протейновые клеи.**

Первые получают из молочного казеина (сухого творога) путем добавления извести и других химических ингредиентов.

Вторые готовят из белков растений с высоким содержанием протеина — из бобов сои, семян илецовины, гороха и других злаков путем добавления извести, жидкого стекла и других химических реагентов.

Свойства, способы приготовления и применения клеев этой группы в основном однообразны. Клеи изготавливаются или в виде порошков, перед применением требующих размачивания водой комнатной температуры, или в виде жидкой мас-

сы, приготовляемой на месте применения путем смешивания отдельных ингредиентов.

Клеи этой группы принадлежат к разряду холодных клеев. Размешивание с водой и применение проводится при комнатной температуре без нагревания раствора. Весьма ценным свойством этих клеев является их высокая водоупорность при значительной связывающей способности. Наиболее прочные соединения дают казеиновые клеи, по использованию которых уже имеется большой опыт. Менее изучены протейновые клеи, несколько уступающие казеиновым в связывающей способности. Имея в своем составе антисептики, эти клеи не являются питательной средой для грибков и бактерий.

**Группа 3. Альбуминовые клеи.** Эти клеи готовят из кровяного альбумина или крови животных путем смешивания с водой и химическими реагентами. Ввиду необходимости применять при склеивании горячие прессы ( $t^{\circ} = 100-130^{\circ} \text{Ц}$ ) они имеют ограниченное применение главным образом при изготовлении клееной фанеры. Отличаются высокой водоупорностью.

**Группа 4. Растительные клеи.** Сюда относятся:

1) Крахмальные клеи, применяемые главным образом при изготовлении дешевых сортов фанеры. Отличаются весьма слабой водостойкостью и сильно пачкают древесину ввиду наличия большого количества щелочи.

2) Клей из водорослей — альгиновый клей — пока еще мало изучен.

**Группа 5. Жидкие клеи,** приготовляемые главным образом из шкур, костей, плавников рыб или из других материалов. Ввиду слабых связывающих свойств и малой водоупорности эти клеи находят весьма ограниченное применение в мелких деревообделочных производствах.

**Группа 6. Разные клеи** — сюда необходимо отнести: бакелитовые клеи (на основе фенол-формальдегидной смолы), применяемые в настоящее время для изготовления специальной водоупорной и кислотоупорной фанеры, а также для приклеивания к дереву металлов. Требуют применения горячих прессов с  $t^{\circ} = 130-140^{\circ} \text{Ц}$ .

Животные клеи обычно используются в виде водных растворов клея без добавления каких-либо химических, однако в целях экономии возможно применение клея с добавкой мела в количестве до 15% сухого материала.

Для увеличения водоупорности животных клеев предложен ряд способов, как-то: добавление квасцов, хромовокислого калия, одновременное введение щавелевой кислоты (5,5%) и параформальдегида (10,0%).

Два первых способа дают весьма невысокий эффект, а третий требует параформальдегида специальных свойств, причем в последнем случае клеевой раствор приобретает способность быстро (в течение 2—4 час.) терять при хранении жидкую консистенцию.

Казеиновый клей Ц А Г И № 104 в сухом виде представляет собой порошок следующего состава:

- Казеина 100 ч.
- Извести гашеной 22—24 ч.
- Фтористого натрия 8—12%.
- Фосфорнокислого натрия 6—10%.
- Альбуминового порошка 3%.
- Медного купороса  $1\frac{1}{2}\%$ .
- Керосина 1%.

Технические свойства клеящих материалов, применяемых для склеивания древесины в строительном деле

| Наименование клея  | Содержание воды в весовых частях на 1 вес. ч. сухого клея   | Способ применения  | Связывающая способность при испытании на скалывание по фиг. 9 в $\text{кг/см}^2$ Древесина ясени | Волокнистость при испытании по фиг. 9 после 30-часового вымачивания образцов в воде при $t = 18 - 20^\circ \text{C}$ | Крепость на скалывание обрезовой фанеры по фиг. 9a в $\text{кг/см}^2$ в сухом состоянии | После 1 часа кипячения в воде |
|--|---|--|--|--|---|-------------------------------|
| Животные клеи<br>Мездровые клеи<br>а) Высшего сорта<br>б) Среднего »<br>в) Низшего »<br>Костяной клей<br>Высшего сорта<br>Среднего » | От $1\frac{1}{2}$ до 3<br>» $1\frac{1}{2}$ » $2\frac{1}{2}$<br>» 1 » 2<br>» 1 » $2\frac{1}{4}$<br>» 1 » 2 | Раствор в горячем виде при $t = 75 - 80^\circ \text{C}$ наносится кистью или механическим клеем-распределителем на древесину. Последнюю желательно клеить в подогретом состоянии | От 120 до 200<br>» 150 » 160<br>» 50 » 100<br>» 110 » 160<br>» 70 » 100                          | От 40 до 75<br>» 25 » 65<br>» 0 » 36<br>» 15 » 46<br>» 0 » 37  | —<br>—<br>—<br>—<br>—   | —<br>—<br>—<br>—<br>—         |
| Казеиновые клеи<br>Клей ЦАГИ № 104 (в порошке)   | От 1,5 до 3,2   | Водный раствор наносится на древесину кистью или клеераспределителем при $t = 10 - 30^\circ \text{C}$ . Ни клей, ни дерево не подогреваются                                      | От 100 до 100  | От 65 до 125   | От 15 до 25   | От 8 до 15                    |
| Клеи на основе силиката натрия   | От 2,5 до 3,5   | —  | От 110 до 200  | От 70 до 130   | То же   | То же                         |
| Протеиновые клеи<br>Клей на основе протеина сои (в порошке)  | От 3,5 до 4,0   | —  | От 107 до 160  | От 65 до 101   | От 15 до 20   | От 7 до 9                     |
| Клей на основе протеина клещевины (в порошке)  | От 3,5 до 4,0   | То же  | От 20 до 90  | Испытаний не выдерживают   | От 12 до 20   | От 5 до 20                    |
| Альбуминовые и кровяные клеи   | Состав дан в тексте   | Раствор наносится распределителем. Шпон прессуется в горячем прессе при $t = 100 - 130^\circ \text{C}$   | —  | —  | От 15 до 25   | От 8 до 15                    |
| Бакелитовые клеи (бумажная пленка)   | —   | Бумажная бакелитовая пленка закладывается между склеиваемыми поверхностями. Прессуется все в горячем прессе при $t = 130 - 140^\circ \text{C}$                                   | —  | —  | От 15 до 30   | 15 и выше                     |

Порошок размешивается с водой комнатной температуры (10—30°C) в отношении: 1 вес. ч. порошка на 1,5—2,2 ч. воды до получения однородной массы.

Для удешевления в водный раствор клея может быть введено до 20% жидкого натриевого стекла без ущерба для связывающей силы и водоупорности.

Этот клей может быть использован для наклейки на деревянные части листового металла (железо, сталь) при условии обработки поверхности последнего раствором серной кислоты (травление) или пескоструйным аппаратом.

Нормальный казеиновый клей с жидким стеклом, приготавливаемый на месте потребления, имеет состав:

- 1) Казеина 100 ч.  
Извести CaO 20—30 ч.  
Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (сухой) 7—8 ч.  
Силиката натрия (38—40° Be) 60—70 ч  
Воды не менее 350 ч.  
Машинного масла 1—1,5 ч.

- 2) Казеина 100 ч.  
Извести CaO 20—25 ч.  
Силиката натрия (38—40° Be) 70 ч.  
Воды 300 ч.  
Машинного масла 1,5 ч.

Протеиновые клеи в порошке

- Соевый клей:  
Протеина (казеина) сои 100 ч.  
Извести Ca(OH)<sub>2</sub> (гашеной) 23 ч.  
Фтористого натрия (сухого) 8 ч.  
Фосфорнокислого натрия 7 ч.  
Клеящий клей:  
Протеина (казеина) клеящины 100 ч.  
Извести Ca(OH)<sub>2</sub> 12 ч.  
Фтористого натрия (сухого) 8 ч.

Оба клея готовятся разведем 1 вес. ч. порошка в 3,5 вес. ч. воды комнатной температуры.

Альбуминовые клеи

Обычно готовятся на месте применения

Простейший состав:

- Альбумина черного — 100 вес. ч.  
Извести (CaO) — 10 вес.ч.  
Воды — 900 вес. ч.

Технические свойства перечисленных выше клеящих материалов даны в табл. 4. Во всех случаях следует отдать предпочтение казеиновым клеям.

Более подробные рецепты даны в специальной литературе.

Примечание. Подробности приготовления см. Печаров Н., Казеиновые клеи, 1932 г., стр. 78.

Риковский А. В., Фанерные клеи, Лестехиздат, 1934 г.

Исполнитель. Центр. лаборатория фанерного треста № 1, 1932 г.

#### 4. Подготовка древесины для склеивания

Содержание влаги в древесине должно быть таково, чтобы после склеивания деталь имела влажность, близкую к средней влажности, приобретаемой в эксплуатации.

Материал как в отдельных штуках, так и в целых партиях должен иметь приблизительно одинаковую влажность, во всяком случае не превышающую 15%. При этом для деталей, предназначенных к эксплуатации в закрытых, хорошо отапливаемых помещениях, желательно применение древесины с влажностью не выше 7—8%. Увеличение влажности при склеивании зависит от толщины склеиваемых деталей, числа слоев, содержания влаги в клее и расхода клея и может колебаться в пределах от 1 до 45% (табл. 2).

Древесные заготовки, предназначенные для склеивания, должны быть правильно высушены, без трещин и значительных внутренних напряжений.

Состояние поверхностей, подлежащих склеиванию. Склеиваемые поверхности должны быть хорошо пригнаны (прифуговка), без волнистости и глубоких царапин, трещин и прочих дефектов машинной обработки. Ручная пригонка не обеспечивает необходимой плотности при склеивании, особенно толстых досок и брусков.

Цинубление (царапанье) поверхностей, как правило, не улучшает, а наоборот, ухудшает качество склейки и допустимо только как мера устранения волнистости и других дефектов предварительной обработки. Поверхности должны быть свободны от грязи, масла и древесной пыли.

#### 5. Процесс склеивания

Скорость затвердевания клея в соединениях древесины зависит: 1) от качества применяемых клеев, 2) от количественного содержания в клее воды, 3) от влажности и сорта древесины, 4) от температурных условий в помещении, где производится склеивание.

Горячие животные клеи, как правило, схватывают и затвердевают несколько быстрее холодных казеиновых и протеиновых клеев.

В то время как для холодных клеев температура помещения в пределах 10—30°C не имеет существенного значения, для животных клеев разница в температуре 5—6°C имеет существенное значение. На фиг. 7 даны кривые затвердевания животных мяздровых клеев в соединениях сахарного клена 7% влажности при двух разных температурах помещения, а на фиг. 8 — характерные кривые затвердевания казеиновых клеев в соединениях ясеня влажностью 12%.

Таблица 2

Количество влаги, добавляемой при склеивании

| Число слоев | Толщина одного слоя в мм | Общая толщина в мм | Увеличение влажности в % при клеях, содержащих |                        |                            | Примечание   |
|-------------|--------------------------|--------------------|--|------------------------|----------------------------|--|
|             |                          |                    | на 1 ч. клея 2 1/2 ч. воды                     | на 1 ч. клея 2 ч. воды | на 1 ч. клея 1 3/4 ч. воды |  |
| 3           | 0,5                      | 1,5                | 30,5   | 32,5                   | 47,3                       | 1 Расход 85 г сухого клея на 1 м <sup>2</sup><br>2 То же 90 г на 1 м <sup>2</sup><br>3 * 160 г на 1 м <sup>2</sup> |
| 5           | 1,0                      | 5                  | 15,8   | 16,9                   | 24,5                       |  |
| 5           | 3,0                      | 15                 | 3,6  | 3,8                    | 5,5                        |  |
| 9           | 3,0                      | 27                 | 3,1  | 8,7                    | 12,6                       |  |
| 10          | 20,0                     | 30                 | 1,4  | 1,5                    | 2,1                        |  |
| 15          | 25,0                     | 12,5               | —  | менее 1,5              | —                          |  |

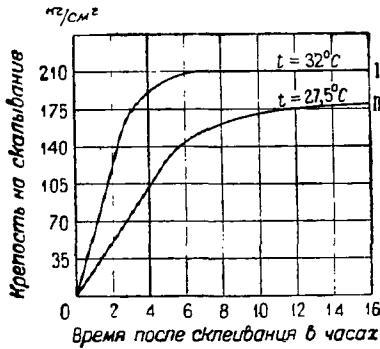
Кривая (фиг. 8) со значком I дана для клея ЦАГИ № 104, разведенного водой в отношении 1 : 1<sup>2</sup>/<sub>4</sub>.

Кривая со значком II — для клея с жидким стеклом (жидкосмешиваемого).

Крепость соединений определялась во всех случаях по схеме фиг. 9.

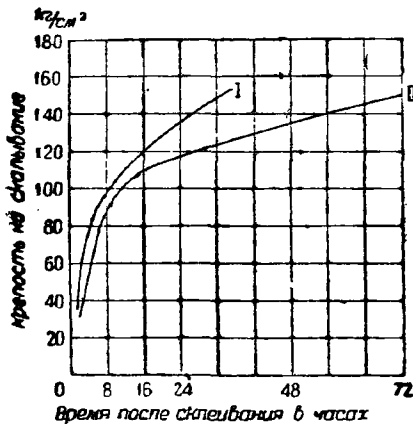
Условия нанесения клея. Раствор казеиновых клеев при склеивании вдоль волокон обычно наносится только на одну

Время сборки — промежуток с момента нанесения клея до момента запрессовки — определяется характером операций, проводимых в этот отрезок времени. При закрытой сборке на животном клею (склеиваемые детали складываются тотчас после нанесения клея) время сборки в зависимости от температуры помещения и склеиваемой древесины колеблется от 0,5 до 15 мин.



Фиг. 7. Кривые затвердевания животных мездровых клеев в соединениях сахарного клея 7% влажности

из соединяемых поверхностей. Средний расход сухого клея при нормальном разведении водой 1 : 2 (по весу) составляет 185 г/м². В отдельных случаях применения расход казеиновых и прогениновых клеев может колебаться в пределах от 150 до 280 г/м² (сухого материала).

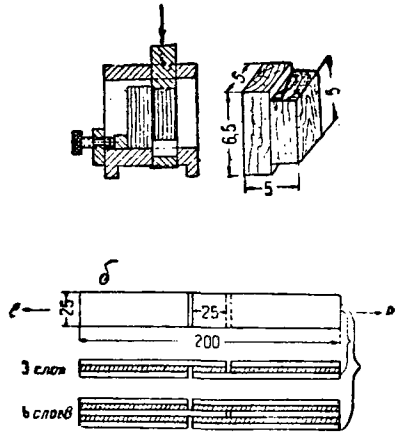


Фиг. 8. Характерные кривые затвердевания казеиновых клеев в соединениях ясеня влажностью 12%

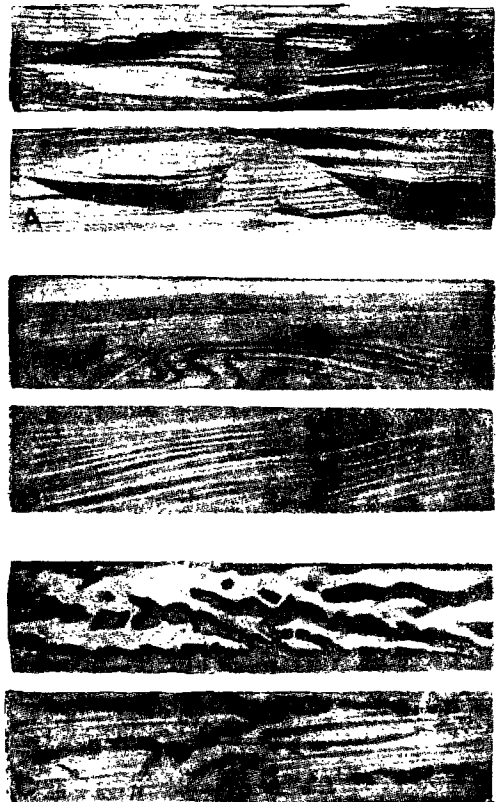
Раствор животных клеев наносится обычно на обе склеиваемые поверхности.

Расход сухого клея колеблется в пределах 100—200 г/м².

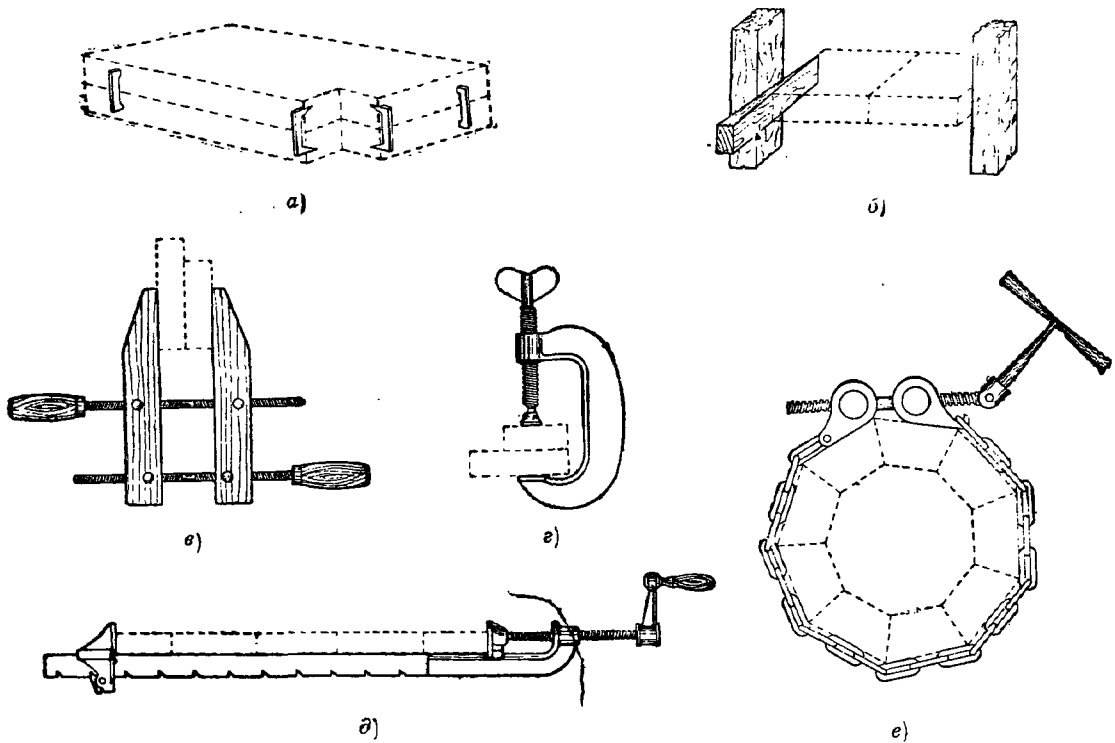
При торцевых и полоторцевых соединениях необходимо применять более густые клеи и наносить их также на обе склеиваемые поверхности.



Фиг. 9. Схемы соединения для определения крепости клея



Фиг. 10. Характер разрушения клееного шва



Фиг. 11. Приспособления для запрессовки.

При открытой сборке детали складываются перед моментом запрессовки на тех же клеях от  $1\frac{1}{2}$  до  $2\frac{1}{2}$  мин. Казеиновые и протеиновые клеи допускают сборку: открытую — от 0 до 12 мин., закрытую — от 5 до 20 мин.

Несвоевременное наложение пресса приводит обычно к слабому соединению. При запоздании имеет место преждевременное застывание клея, не способного в дальнейшем образовать ровную тонкую прослойку (фиг. 10, С).

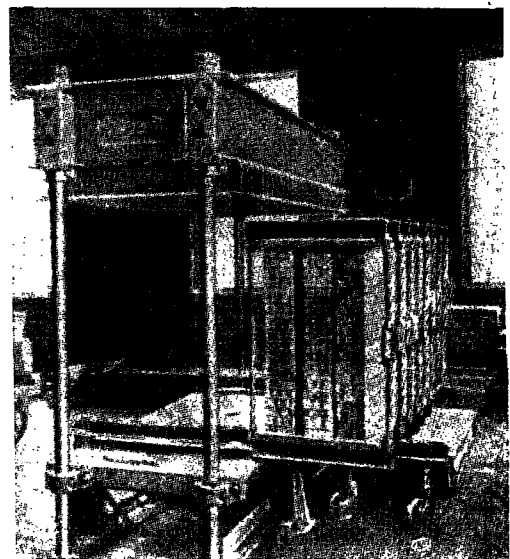
При преждевременной запрессовке получается «голодное» соединение — клей или вдавливается в дерево или вытекает, причем при разломе остается впечатление полного отсутствия клея в местах склейки (фиг. 10, В).

При нормальной запрессовке разрушение происходит обычно по древесине (фиг. 10, А).

Давление пресса должно обеспечивать полное и равномерное сближение склеиваемых поверхностей. Нагрузка от 2 до  $12 \text{ кг/см}^2$  при условии хорошей подгонки поверхностей даст удовлетворительные результаты. Предпочтению следует отдавать более высоким давлениям. Величина давления должна назначаться с учетом консистенции клея и времени сборки.

Время действия пресса. При склеивании мягких пород (сосны, ели) время действия пресса должно быть не менее 4 час.; при твердых породах (дуб, ясень) — не менее 6 час. При изготовлении слоистых фанерных деталей — не менее 8 час.

Для получения необходимого давления при запрессовке применяются различные приспособления, зависящие от конфигурации деталей. Отдельные приспособления показаны на фиг. 11.



Фиг. 12. Пресс для холодной клейки

На фиг. 12 представлен пресс для холодной клейки казеиновым клеем при массовом изготовлении элементов дверей.

Просушка деталей после запрессовки. После снятия пресса клеенные детали до пуска их в обработку должны быть выдержаны в течение некоторого срока.



Детали из досок и брусков толщиной не ниже 20 мм могут быть пущены в обработку не ранее 1 суток по снятии пресса.

Детали из пиленого шпона или тонких досок толщиной до 10 мм — не ранее 3 суток по снятии пресса.

Многослойные детали из тонкой фанеры — не ранее 5 суток по снятии пресса.

**Хранение клеевых деталей.** Помещение должно быть закрытым, чистым и по возможности отапливаемым, дабы обеспечить, с одной стороны, постоянство содержания в древесине влаги и избежать чрезвычайно вредной излишней усушки, вызывающей коробление и растрескивание по месту склейки, а с другой стороны, исключить возможность заражения древесины грибами. Последнее условие должно быть особенно учтено при применении клея на

белковой основе, который является питательной средой для бактерий.

Во всех случаях желательна защитная покраска клеевых деталей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров Н. Ф., Исследование столярных желатиновых клеев, Труды ЦАГИ, вып. 27, 1926 г.
2. Егоров Е., Техника склеивания древесины казеиновыми клеями, Труды ЦАГИ, вып. 71, 1931 г.
3. Егоров Е., Казеиновые клеи, Труды ЦАГИ, вып. 115, 1932 г.
4. Вирник В., Гиаланцев и Эпштейн, Производство клея и желатина, 1932 г.
5. Раковский А. В., Клеи в фанерном производстве, Гослестехиздат, 1934 г.
6. Stadlinger, Klebstoffe als Stärkerzeugnissen, Berlin 1932.
7. Sutermeister E., Casein and its industrial application, New-York 1927.

# РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

## ПЛОСКОСТНЫЕ СИСТЕМЫ

Инж. П. П. НИКОЛАЕВ

### 1. БАЛКИ ПРОСТЕЙШЕГО ВИДА

#### 1. Общие сведения

Балки простейшего вида из круглого окантованного или пиленого леса (разрезные, ковсольные и неразрезные) применяются главным образом в чердачных и междуэтажных перекрытиях с обычной для жилых зданий нагрузкой.

При значительных нагрузках переходят к составным балкам, преимущественно из пиленого леса на пластинчатых нагелях или гвоздях.

Элементы перекрытий проверяются на статические и динамические воздействия всех постоянных и временных нагрузок.

Постоянными нагрузками являются нагрузки от собственного веса балок и ограждающих элементов (утеплителей, изоляции и т. п.). Подсчет нагрузок производится по фактическому объемному весу входящих в конструкцию элементов<sup>1</sup>.

Средний вес  $g_0$  дощатых балок в кг на 1 м<sup>2</sup> перекрытия дан в табл. 1.

Таблица 1

Средний вес дощатых балок на 1 м<sup>2</sup> перекрытия

| $l_0$ в м | $\rho$ в кг/м <sup>3</sup> |     |     |     |     |
|-----------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|
|           | 75—100                     | 150 | 250 | 300 | 350 |
| 4,00      | 12                         | 18  | 24  | 28  | 30  |
| 5,00      | 18                         | 26  | 34  | 38  | 43  |
| 6,00      | 28                         | 40  | 50  | 57  | 62  |

При назначении временных нагрузок надлежит руководствоваться данными табл. 248 тома II справочника (стр. 664).

#### 2. Общие конструктивные и расчетные указания

При проектировании балок из пиленого леса следует руководствоваться стандартом  $\frac{ОСТ}{ВКС}$  7099 (табл. 2).

При проектировании балок из круглого леса следует руководствоваться следующими размерами строительных бревен в воздушно-сухом состоянии, установленными  $\frac{ОСТ}{ВКС}$  7624.

Толщина бревен в верхнем отрубе  $d \geq 16$  см. Длина бревен — от 2 до 9 м с интервалами в 0,5 м.

При выборе сортамента следует предпочитать наиболее высокие и широкие брусья. Высокие балки, несмотря на увеличение общей высоты перекрытия и связанное с этим удорожание стен, более экономичны, увеличение же ширины бруса позволяет (при той же высоте) увеличить расстояние между балками, которое не должно однако превышать 0,90 м.

Спаренные доски должны быть толщиной не менее 3,5—4 см и скрепляться между собой гвоздями через 0,70 м по длине балки.

Подрезку растянутых волокон балок сплошного сечения на опоре не следует делать более  $\frac{1}{6}h$ . В случае передачи нагрузки на балку через прибитые по бокам черепные бруски в целях предупреждения отрыва нижних волокон балки по линии гвоздевого забоя черепов снизу в балку следует забить ряд гвоздей длиной не менее  $\frac{h}{3}$ .

Необходимые размеры сечений элементов определяются расчетом на прочность и на жесткость.

Допускаемый прогиб принимается: для междуэтажных перекрытий  $f_{\max} = \frac{l}{250} - \frac{l}{400}$ , для чердачных —  $f_{\max} = \frac{l}{200} - \frac{l}{350}$ .

Проверка на скалывание производится только при значительных сосредоточенных нагрузках, приложенных на небольшом расстоянии от опор но обычной формуле:

$$t_u = \frac{QS}{lb} \leq [t_u],$$

где  $Q$  — поперечная сила;  
 $S$  — статический момент;  
 $b$  — ширина балки.

Определение изгибающих моментов и прогибов можно производить по вспомогательным таблицам<sup>2</sup>, а для консольных балок — по табл. 3.

Для определения прогиба в середине любого пролета неразрезной балки с неравными пролетами (при известных опорных моментах) можно пользоваться следующей формулой:

$$f = f_0 + \frac{(M_n + M_x) l^2}{16EI},$$

<sup>1</sup> См. том II справочника, стр. 659.

<sup>2</sup> См. том II справочника, табл. 103, 106, 140 и 143.

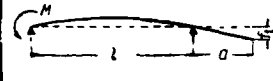
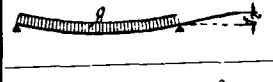

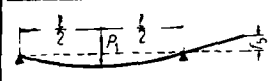
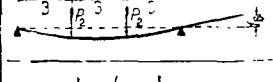

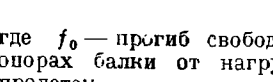
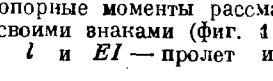
Таблица 2

Пиломатериалы хвойных пород (ОПЛ 7089) (ИКС)

| Толщина в см | Длина в метрах |   |     |     |   |   |     |     |   |     | Примечание |  |
|--------------|----------------|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|-----|------------|--|
|              | 1,5            | 2 | 2,5 | 2,7 | 3 | 4 | 4,5 | 5,5 | 6 | 6,5 |            | 7  |
| 0,8          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            | Отход шпального сырья  |
| 1,0          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            | Получаются при отработке пиломатериалов для вагонопоездов    |
| 1,3          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            | Размеры установлены для материала в воздушно-сухом состоянии |
| 1,6          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 1,9          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 2,2          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 2,5          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 3,0          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 3,5          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 4,0          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 4,5          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 5,0          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 5,5          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 6,0          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 7,0          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 8,5          |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |
| 10,0         |                |   |     |     |   |   |     |     |   |     |            |  |

Таблица 3

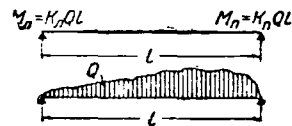
Прогиб консольных балок

| Схема   | Прогиб   |
|---|--|
|    | $f_1 = + \frac{laM}{6EI}$  |
|    | $f_2 = - \frac{qa^3l^3}{24EI}$   |
|    | $f_3 = + \frac{q_1 a^3}{2EI} \left( \frac{l}{3} + \frac{a}{4} \right)$ |
|    | $f_4 = + \frac{Pa^3}{3EI} (l + a)$                                     |
|    | $f_5 = - \frac{P_1 a^2 l^2}{16EI}$                                     |
|   | $f_6 = - \frac{P_2 a^2 l^2}{9EI}$                                      |
|  | $f_7 = - \frac{5P_3 a \cdot l^2}{32EI}$                                |
|  | $f_8 = - \frac{5Pa^2 l^2}{192EI}$                                      |

где  $f_0$  — прогиб свободно лежащей на двух опорах балки от нагрузки, расположенной в пролете;

$M_n$  и  $M_x$  — правый и соответствующий левый опорные моменты рассматриваемого пролета со своими знаками (Фиг. 1);

$l$  и  $EI$  — пролет и жесткость балки

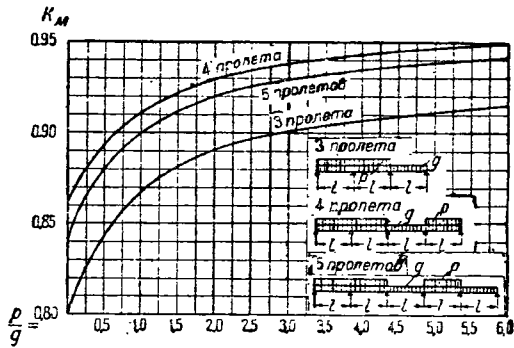


Фиг. 1

При расчете неразрезных балок с равными пролетами и сплошной равномерной нагрузкой, постоянной и временной, надлежит пользоваться графиками фиг. 2 и 3<sup>1</sup>. Эти графики позволяют определить эквивалентные нагрузки по моменту  $M_{max}$  и прогибу  $f_{max}$  и свести расчет неразрезной балки к расчету свободно лежащей балки. Кривые коэффициентов даны для двух-, трех-, четырех- и пятипролетных балок; для многопролетных балок следует пользоваться кривыми для пятипролетной балки. Кривые построены для отношений временной нагрузки к постоянной  $\frac{p}{g} =$  — от 0 до 6,0. После определения соответствующих коэффициентов  $k_f$  и  $k_M$  расчетная нагрузка вы-

<sup>1</sup> Составлены инж. Замараевым В. А.

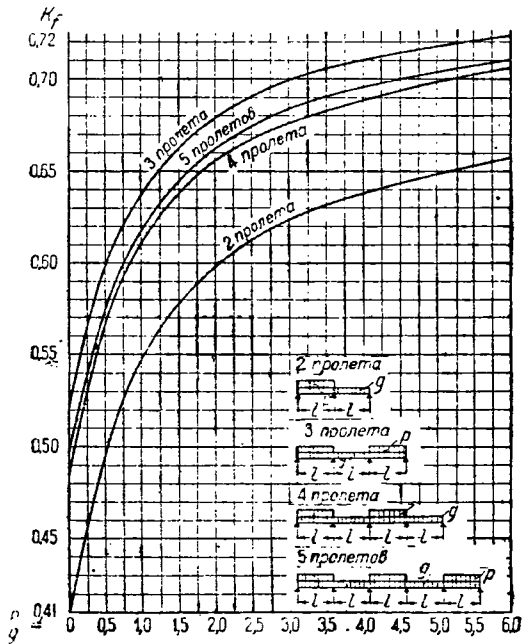
числяется по формулам  $q_f = k_f q$  и  $q_m = k_m q$ , и дальнейший расчет производится, как для простой балки.



Фиг. 2

Примечание. Для двухпролетной балки по  $M_{\max} k = 1,00$  независимо от  $\frac{p}{g}$ .

$p$  — временная нагрузка,  
 $g$  — постоянная нагрузка



Фиг. 3

$p$  — временная нагрузка,  
 $g$  — постоянная нагрузка

Для балок иного типа коэффициенты эквивалентной нагрузки  $k_m$  и  $k_f$  могут быть взяты из таблиц на стр. 40:

**Пример 1.** Требуется определить необходимое сечение пятипролетной балки с равными пролетами  $l = 5,50$  м. Дано:

$$g = 170 \text{ кг/м}^2, \quad p = 300 \text{ кг/м}^2,$$

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{250}; \quad [n_u] = 110 \text{ кг/см}^2; \quad E = 110\,000 \text{ кг/см}^2.$$

Для  $\frac{p}{g} = \frac{300}{170} = 1,76$  находим по графику фиг. 2:

$$k_m = 0,916;$$

по графику фиг. 3:

$$k_f = 0,665.$$

$$\text{Суммарная нагрузка } q = p + g = 300 + 170 = 470 \text{ кг/м}^2.$$

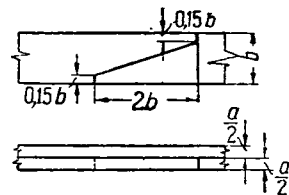
Определяем приведенные погонные нагрузки на балку, приняв расстояние между балками  $c = 0,6$  м.

$$q_m = 0,916 \cdot 470 \cdot 0,6 = 258 \text{ кг/пог. м};$$

$$q_f = 0,665 \cdot 470 \cdot 0,6 = 188 \text{ кг/пог. м};$$

далее расчет производится так же, как и для простых балок (см. ниже).

Неразрезные балки конструируются из двух досок с расположением шарниров в шахматном порядке примерно в нулевых точках (фиг. 4).



Деталь шарнира

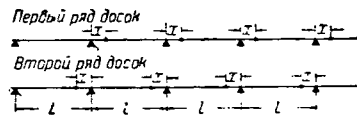
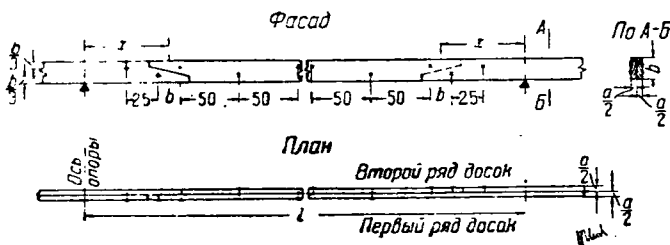


Схема расположения шарниров



Фиг. 4. Размещение гвоздей

Таблица размеров гвоздей

| a   | Гвозди   |     |
|-----|----------|-----|
|     | $d_{20}$ | l   |
| 60  | 3,5      | 60  |
| 70  | 3,5      | 70  |
| 80  | 3,5      | 80  |
| 90  | 3,5      | 90  |
| 100 | 4,0      | 100 |
| 120 | 4,0      | 110 |
| 140 | 4,5      | 125 |
| 160 | 5,0      | 150 |

### 3. Расчет балок из бревен

Ниже помещены таблицы для определения необходимых  $I$  и  $W$  бревен и брусков по пролету  $l$ , расстоянию между осями балок  $c$  в метрах и полной нагрузке  $q$  в  $\text{кг/м}^2$  перекрытия. Табл. 9, 10 и 11 дают значения величин  $I$ ,  $W$  и  $F$  для различных профилей бревен, табл. 12 содержит общие формулы для определения  $F$ ,  $S$ ,  $I$  и  $W$  для составных сечений, табл. 13 — то же для целых сечений.

Таблица 4

Формулы для расчета балок по прочности и жесткости

| $\frac{f}{l}$   | По жесткости        | По прочности при $(n_n)$ |                     |                     |                     |                     |
|-----------------|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                 |                     | 110                      | 100                 | 90                  | 80                  | 70                  |
| $\frac{1}{200}$ | $I = 0,30qc l_0^3$  | $W = 0,127qc l_0^2$      | $W = 0,157qc l_0^2$ | $W = 0,182qc l_0^2$ | $W = 0,174qc l_0^2$ | $W = 0,197qc l_0^2$ |
| $\frac{1}{250}$ | $I = 0,375qc l_0^3$ |                          |                     |                     |                     |                     |
| $\frac{1}{300}$ | $I = 0,45qc l_0^3$  |                          |                     |                     |                     |                     |
| $\frac{1}{350}$ | $I = 0,525qc l_0^3$ |                          |                     |                     |                     |                     |
| $\frac{1}{400}$ | $I = 0,60qc l_0^3$  |                          |                     |                     |                     |                     |

Обозначения к табл. 4—7:

- $I$  — момент инерции сечения в  $\text{см}^4$ ;
- $W$  — момент сопротивления сечения в  $\text{см}^3$ ;
- $h$  — высота сечения в м;
- $d$  — диаметр сечения в м;

$l$  — расчетный пролет;

$l_0$  — пролет в свету ( $l_0 = \frac{l}{1,05}$ );

$c$  — расстояние между осями балок в м;

$q$  — полная нагрузка на перекрытие в  $\text{кг/м}^2$ ;

$i$  — наименьшее отношение  $\frac{l_0}{d}$ , при котором

расчет производится по жесткости;

$E = 100\,000 \text{ кг/м}^2$  — модуль упругости древесины. При ином значении модуля упругости таблицами можно пользоваться, вводя коэффициенты:

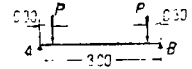
1) для  $I$ :

$$k_1 = \frac{100\,000}{E'}$$

2) для  $i$ :

$$\frac{1}{k_1} = \frac{E'}{100\,000}$$

**Пример 2.** Требуется проверить напряжения в прогоне междуэтажного перекрытия, несущего нагрузку от двух второстепенных балок по  $P = 3 \text{ м}$ , приложенную на расстоянии 30 см от опор. Пролет прогона 3,0 м. Сечение  $20 \times 14 \text{ см}$ , допускаемые напряжения  $[n_u] = 100 \text{ кг/см}^2$ ,  $[t_u] = 20 \text{ кг/см}^2$  (фиг. 5).



Фиг. 5.

**Решение.** Собственный вес прогона  $g = 0,14 \times 3 \times 0,2 = 0,084 \text{ кг/м}$ .

$$A_g = 24 \text{ кг};$$

$$A_p = 3\,000 \text{ кг}; \quad M = 24 \cdot 0,30 = \frac{16 \cdot 0,3^2}{2} + 3\,000 \cdot 0,30 = 914 \text{ кг·м}; \quad W = 933 \text{ см}^3$$

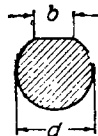
(см. табл. 13);  $n = \frac{91\,400}{933} = 97 \text{ кг/см}^2 < [100]$ .

Ввиду близости сосредоточенного груза к опоре проверяем скалывающие напряжения:

$$t_u = \frac{QS}{Tb} = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \cdot 3\,024}{2 \cdot 14 \cdot 20} = 16,3 < 20 \text{ кг/см}^2.$$

Таблица 5

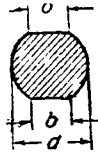
Балки из бревен, овантованных на один карт. Наименьшие значения  $i = \frac{l_0}{d}$  для расчета по жесткости



| $\frac{f}{l}$   | Допускаемые напряжения $[n_u]$ |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|-----------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                 | 110                            |                   |                   | 100               |                   |                   | 90                |                   |                   | 80                |                   |                   | 70                |                   |                   |
|                 | $b = \frac{d}{4}$              | $b = \frac{d}{3}$ | $b = \frac{d}{2}$ | $b = \frac{d}{4}$ | $b = \frac{d}{3}$ | $b = \frac{d}{2}$ | $b = \frac{d}{4}$ | $b = \frac{d}{3}$ | $b = \frac{d}{2}$ | $b = \frac{d}{4}$ | $b = \frac{d}{3}$ | $b = \frac{d}{2}$ | $b = \frac{d}{4}$ | $b = \frac{d}{3}$ | $b = \frac{d}{2}$ |
| $\frac{1}{200}$ | 20,7                           | 20,6              | 20,4              | 22,7              | 22,6              | 22,2              | 25,4              | 25,3              | 24,9              | 28,2              | 28,1              | 27,6              | 32,4              | 32,2              | 31,6              |
| $\frac{1}{250}$ | 16,7                           | 16,6              | 16,2              | 18,2              | 18,1              | 17,9              | 20,4              | 20,3              | 19,9              | 22,7              | 22,6              | 22,2              | 27,9              | 27,8              | 27,2              |
| $\frac{1}{300}$ | 13,8                           | 13,7              | 13,5              | 15,2              | 15,1              | 14,8              | 16,9              | 16,8              | 16,5              | 18,9              | 18,8              | 18,4              | 21,7              | 21,6              | 21,0              |
| $\frac{1}{350}$ | 11,9                           | 11,8              | 11,5              | 13,0              | 12,9              | 12,7              | 14,6              | 14,5              | 14,2              | 16,2              | 16,1              | 15,8              | 18,5              | 18,4              | 18,6              |
| $\frac{1}{400}$ | 10,4                           | 10,3              | 10,2              | 11,4              | 11,3              | 11,1              | 12,7              | 12,6              | 12,4              | 14,2              | 14,1              | 13,9              | 16,2              | 16,1              | 15,7              |

Таблица 6

Балки из бревен, окантованных на два канта. Наименьшие значения  $i = \frac{l_0}{d}$  для расчета по жесткости



| $\frac{f}{l}$   | Допускаемые напряжения $[n_u]$ |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|-----------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                 | 110                            |                   |                   | 100               |                   |                   | 90                |                   |                   | 80                |                   |                   | 70                |                   |                   |
|                 | $b = \frac{d}{4}$              | $b = \frac{d}{3}$ | $b = \frac{d}{2}$ | $b = \frac{d}{4}$ | $b = \frac{d}{3}$ | $b = \frac{d}{2}$ | $b = \frac{d}{4}$ | $b = \frac{d}{3}$ | $b = \frac{d}{2}$ | $b = \frac{d}{4}$ | $b = \frac{d}{3}$ | $b = \frac{d}{2}$ | $b = \frac{d}{4}$ | $b = \frac{d}{3}$ | $b = \frac{d}{2}$ |
| $\frac{1}{200}$ | 20,5                           | 19,5              | 17,9              | 22,0              | 21,4              | 19,8              | 24,6              | 24,0              | 22,2              | 27,5              | 26,8              | 24,6              | 31,4              | 30,3              | 28,2              |
| $\frac{1}{250}$ | 16,1                           | 15,7              | 14,5              | 17,7              | 17,2              | 15,8              | 19,8              | 19,3              | 17,9              | 22,0              | 21,5              | 19,7              | 25,2              | 24,5              | 22,6              |
| $\frac{1}{300}$ | 13,4                           | 13,1              | 12,0              | 14,7              | 14,3              | 13,2              | 16,4              | 16,0              | 14,7              | 18,3              | 17,9              | 16,5              | 21,0              | 20,5              | 18,9              |
| $\frac{1}{350}$ | 11,5                           | 11,2              | 10,6              | 12,6              | 12,3              | 11,3              | 14,1              | 13,7              | 12,7              | 15,8              | 15,3              | 14,10             | 18,0              | 17,5              | 16,10             |
| $\frac{1}{400}$ | 10,2                           | 9,9               | 9,0               | 11,0              | 10,7              | 9,9               | 12,3              | 12,0              | 11,2              | 13,8              | 13,4              | 12,7              | 15,7              | 15,3              | 14,10             |

Таблица 7

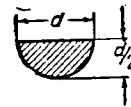
Балки из бревен, окантованных на четыре канта. Наименьшие значения  $i = \frac{l_0}{d}$  для расчета по жесткости



| $\frac{f}{l}$   | Допускаемое напряжение $[n_u]$ |      |      |      |      |
|-----------------|--------------------------------|------|------|------|------|
|                 | 110                            | 100  | 90   | 80   | 70   |
| $\frac{1}{200}$ | 18,0                           | 19,7 | 22,1 | 24,6 | 27,8 |
| $\frac{1}{250}$ | 14,5                           | 15,9 | 17,8 | 19,7 | 22,6 |
| $\frac{1}{300}$ | 12,0                           | 13,2 | 14,7 | 16,4 | 18,9 |
| $\frac{1}{350}$ | 10,6                           | 11,3 | 12,6 | 14,1 | 16,1 |
| $\frac{1}{400}$ | 9                              | 10,0 | 11,0 | 12,4 | 14,1 |

Таблица 8

Балки из плит. Наименьшие значения  $i = \frac{l_0}{d}$  для расчета по жесткости



| $\frac{f}{l}$   | Допускаемое напряжение $[n_u]$ |      |      |      |      |
|-----------------|--------------------------------|------|------|------|------|
|                 | 110                            | 100  | 90   | 80   | 70   |
| $\frac{1}{200}$ | 12,10                          | 13,3 | 14,9 | 16,5 | 18,9 |
| $\frac{1}{250}$ | 9,80                           | 10,7 | 12,0 | 13,5 | 15,1 |
| $\frac{1}{300}$ | 8,10                           | 8,8  | 9,85 | 11,0 | 12,7 |
| $\frac{1}{350}$ | 7,0                            | 7,60 | 8,45 | 9,4  | 10,8 |
| $\frac{1}{400}$ | 6,10                           | 6,1  | 7,4  | 8,3  | 9,5  |

Пример 3. Требуется подобрать размеры бревен междуэтажного перекрытия, окантованных на два канта при  $b = \frac{d}{4}$ , нагруженных равномерно распределенной нагрузкой  $q = g + p = 120 + 200 = 320 \text{ кг м}^2$ ; балки свободно оперты и расположены на расстоянии  $c = 0,70 \text{ м}$ , пролет в свету  $l_0 = 5,70 \text{ м}$ , допускаемое напряжение  $[n_u] = 80 \text{ кг/см}^2$ , прогиб  $f = \frac{1}{250} L$ .

Решение. Пользуемся табл. 6; при данном напряжении и прогибе имеем:  $i = 22$ ; задаваясь диаметром бревна  $d = 24 \text{ см}$ , получаем:

$$\frac{l_0}{d} = \frac{570}{0,24} = 23,8 > 22,$$

следовательно расчет производим по жесткости;  $I = 0,375 q c l_0^3$ .


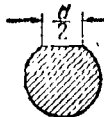

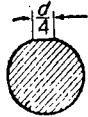
Подставляя числовые значения, получим:

$$I = 0,375 \cdot 320 \cdot 0,70 \cdot 5,70^3 = 15\,600 \text{ см}^4,$$

Данные для расчета балок из бревен

Таблица 9

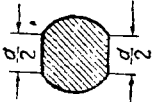
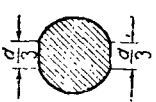
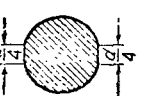
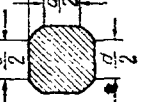
132

| Сечения   | Характеристики        | Диаметры бревен в см |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---|-----------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   |                       | 13                   | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     | 21     | 22     | 23     | 24     | 25     | 26     | 27     | 28     | 29     | 30     |
|    | $g$ в кг              | 7,4                  | 8,5    | 9,8    | 11,1   | 12,5   | 14,1   | 15,9   | 17,4   | 19,1   | 21,0   | 23,0   | 25,0   | 27,1   | 29,3   | 31,7   | 34,0   | 36,4   | 39,10  |
|   | $F$ в см <sup>2</sup> | 132,73               | 153,94 | 176,71 | 201,06 | 226,98 | 254,47 | 283,53 | 314,16 | 343,36 | 380,13 | 415,48 | 452,39 | 490,97 | 530,93 | 572,56 | 615,75 | 660,52 | 706,86 |
|   | $I$ в см <sup>4</sup> | 1 402                | 1 886  | 2 485  | 3 217  | 4 100  | 5 153  | 6 397  | 7 854  | 9 547  | 11 499 | 13 737 | 16 286 | 19 175 | 22 432 | 26 087 | 30 172 | 34 719 | 39 761 |
|   | $W$ в см <sup>3</sup> | 215,7                | 269,4  | 331,3  | 402,1  | 482,3  | 572,6  | 673,4  | 785,4  | 909,2  | 1 045  | 1 194  | 1 357  | 1 534  | 1 726  | 1 932  | 2 155  | 2 394  | 2 651  |
|    | $g$ в кг              | 7,1                  | 8,3    | 9,5    | 10,9   | 12,1   | 13,6   | 15,2   | 16,8   | 18,4   | 20,4   | 22,3   | 24,3   | 26,3   | 28,5   | 30,7   | 33,0   | 35,4   | 37,9   |
|   | $F$ в см <sup>2</sup> | 129,9                | 149,49 | 171,61 | 195,25 | 220,42 | 247,11 | 275,33 | 305,08 | 336,35 | 369,15 | 403,47 | 439,32 | 476,69 | 515,59 | 556,01 | 597,96 | 641,43 | 686,43 |
|   | $I$ в см <sup>4</sup> | 1 261                | 1 696  | 2 235  | 2 893  | 3 687  | 4 635  | 5 754  | 7 064  | 8 586  | 10 343 | 12 355 | 14 648 | 17 246 | 20 175 | 23 463 | 27 137 | 31 226 | 35 762 |
|   | $W$ в см <sup>3</sup> | 199,4                | 249,1  | 306,4  | 371,8  | 446,0  | 529,5  | 622,7  | 726,3  | 840,7  | 966,7  | 1 104  | 1 255  | 1 418  | 1 595  | 1 786  | 1 993  | 2 226  | 2 477  |
|    | $g$ в кг              | 7,3                  | 8,3    | 9,7    | 11,00  | 12,4   | 13,9   | 15,5   | 17,1   | 18,8   | 20,6   | 22,7   | 24,7   | 26,8   | 29,0   | 31,3   | 33,7   | 36,2   | 38,8   |
|   | $F$ в см <sup>2</sup> | 131,65               | 152,68 | 175,28 | 199,42 | 225,13 | 252,40 | 281,22 | 311,60 | 343,54 | 377,04 | 412,09 | 448,70 | 486,88 | 526,60 | 567,89 | 610,74 | 655,14 | 701,10 |
|   | $I$ в см <sup>4</sup> | 1 359                | 1 828  | 2 409  | 3 118  | 3 974  | 4 995  | 6 201  | 7 613  | 9 253  | 11 146 | 13 315 | 15 786 | 18 586 | 21 743 | 25 286 | 29 245 | 33 652 | 38 540 |
|   | $W$ в см <sup>3</sup> | 210,7                | 263,2  | 323,7  | 392,9  | 471,3  | 559,4  | 658    | 767,4  | 888,4  | 1 021  | 1 167  | 1 326  | 1 499  | 1 686  | 1 888  | 2 106  | 2 340  | 2 590  |
|  | $g$ в кг              | 7,8                  | 8,4    | 9,7    | 11,00  | 12,4   | 14,0   | 15,6   | 17,2   | 19,0   | 20,8   | 22,8   | 24,8   | 26,9   | 29,1   | 31,5   | 33,8   | 36,2   | 38,9   |
|   | $F$ в см <sup>2</sup> | 132                  | 153    | 176    | 200    | 226    | 254    | 283    | 313    | 345    | 379    | 414    | 451    | 489    | 529    | 571    | 614    | 659    | 705    |
|   | $I$ в см <sup>4</sup> | 1 371                | 1 844  | 2 430  | 3 146  | 4 009  | 5 039  | 6 255  | 7 680  | 9 335  | 11 244 | 13 432 | 15 925 | 18 750 | 21 935 | 25 509 | 29 503 | 33 949 | 38 880 |
|   | $W$ в см <sup>3</sup> | 211                  | 263    | 324    | 393    | 472    | 562    | 658    | 768    | 889    | 1 022  | 1 168  | 1 327  | 1 500  | 1 687  | 1 890  | 2 107  | 2 341  | 2 592  |

П. П. НИКОЛАЕВ

Таблица 10

Данные для расчета балок из бревен

| Сечение   | Характеристики        | Диаметры бревен в см |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-----------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   |                       | 13                   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    |
|    | $\sigma$ в кг         | 6,9                  | 8,0  | 9,2  | 10,4 | 11,6 | 13,4 | 14,7 | 16,4 | 17,9 | 19,7  | 21,6  | 23,4  | 25,4  | 27,5  | 29,5  | 31,8  | 34,2  | 36,6  |
|   | $F$ в см <sup>2</sup> | 125                  | 145  | 166  | 189  | 214  | 249  | 267  | 296  | 326  | 358   | 391   | 426   | 462   | 500   | 539   | 580   | 622   | 666   |
|   | $I$ в см <sup>4</sup> | 1114                 | 1498 | 1974 | 2556 | 3257 | 4094 | 5082 | 6240 | 7585 | 9136  | 10914 | 13039 | 15284 | 17822 | 20746 | 23972 | 27584 | 31599 |
|   | $W$ в см <sup>3</sup> | 193                  | 247  | 304  | 369  | 442  | 525  | 617  | 720  | 833  | 958   | 1095  | 1244  | 1406  | 1582  | 1771  | 1976  | 2195  | 2430  |
|    | $\sigma$ в кг         | 7,2                  | 8,4  | 9,6  | 10,9 | 12,3 | 13,8 | 15,4 | 17,0 | 18,8 | 20,6  | 22,6  | 24,5  | 26,6  | 28,7  | 31,0  | 33,4  | 35,8  | 38,4  |
|   | $F$ в см <sup>2</sup> | 131                  | 152  | 174  | 198  | 223  | 250  | 279  | 309  | 341  | 374   | 409   | 445   | 483   | 522   | 564   | 606   | 650   | 696   |
|   | $I$ в см <sup>4</sup> | 1285                 | 1729 | 2278 | 2919 | 3753 | 4771 | 5864 | 7200 | 8752 | 10542 | 12593 | 14930 | 17473 | 20264 | 23315 | 27060 | 31828 | 36450 |
|   | $W$ в см <sup>3</sup> | 209                  | 261  | 321  | 389  | 467  | 554  | 652  | 760  | 880  | 1012  | 1153  | 1313  | 1484  | 1670  | 1870  | 2085  | 2317  | 2565  |
|   | $\sigma$ в кг         | 7,3                  | 8,4  | 9,7  | 11,0 | 12,4 | 13,9 | 15,5 | 17,4 | 18,9 | 20,9  | 22,8  | 24,8  | 26,8  | 29,0  | 31,3  | 33,7  | 36,2  | 38,6  |
|   | $F$ в см <sup>2</sup> | 132                  | 153  | 176  | 200  | 226  | 253  | 282  | 312  | 344  | 378   | 413   | 450   | 488   | 528   | 569   | 612   | 657   | 701   |
|   | $I$ в см <sup>4</sup> | 1342                 | 1806 | 2379 | 3080 | 3925 | 4994 | 6125 | 7520 | 9141 | 11010 | 13163 | 15593 | 18359 | 21478 | 24978 | 28889 | 33242 | 38070 |
|   | $W$ в см <sup>3</sup> | 213                  | 266  | 327  | 397  | 477  | 566  | 665  | 776  | 898  | 1033  | 1180  | 1341  | 1516  | 1705  | 1909  | 2129  | 2366  | 2619  |
|  | $\sigma$ в кг         | 6,4                  | 7,5  | 8,6  | 9,8  | 11,0 | 12,4 | 13,9 | 15,3 | 16,8 | 18,5  | 20,2  | 22,0  | 23,9  | 25,8  | 27,8  | 30,0  | 32,2  | 34,4  |
|   | $F$ в см <sup>2</sup> | 117                  | 136  | 156  | 178  | 201  | 225  | 251  | 278  | 306  | 336   | 368   | 400   | 434   | 470   | 507   | 545   | 584   | 625   |
|   | $I$ в см <sup>4</sup> | 1085                 | 1460 | 1931 | 2490 | 3174 | 3999 | 4952 | 6080 | 7389 | 8902  | 10694 | 12667 | 14844 | 17365 | 20185 | 23357 | 26877 | 30760 |
|   | $W$ в см <sup>3</sup> | 191                  | 239  | 294  | 356  | 427  | 507  | 597  | 696  | 806  | 926   | 1059  | 1203  | 1359  | 1529  | 1712  | 1910  | 2122  | 2349  |



Данные для расчета балок из частой цилиндрических бревен

 $\gamma = 550 \text{ кг/м}^3$ 



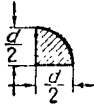
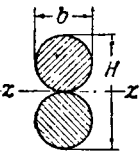
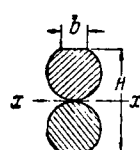
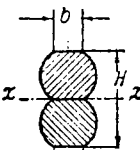
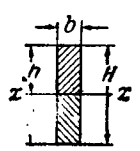
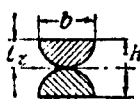
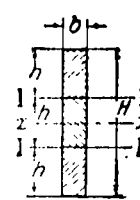
| Сечения   | Характеристики        | Диаметры бревен в см |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |      |
|---|-----------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|   |                       | 13                   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23    | 24   | 25    | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    |      |
|    | $g$ в кг              | 3,6                  | 4,2  | 4,9  | 5,5  | 6,2  | 7,0  | 7,8  | 8,6  | 9,5  | 10,4 | 11,4  | 12,4 | 13,5  | 14,0  | 15,7  | 16,9  | 18,2  | 19,5  |      |
|   | $F$ в см <sup>2</sup> | 66                   | 77   | 88   | 100  | 113  | 127  | 141  | 157  | 173  | 190  | 207   | 226  | 245   | 265   | 286   | 307   | 330   | 353   |      |
|   | $I$ в см <sup>4</sup> | 700                  | 941  | 1240 | 1606 | 2046 | 2572 | 3193 | 3920 | 4764 | 5739 | 6855  | 8128 | 9570  | 11196 | 13020 | 15050 | 17328 | 19845 |      |
|   | $W$ в см <sup>3</sup> | 108                  | 134  | 165  | 201  | 241  | 286  | 336  | 392  | 454  | 522  | 596   | 677  | 768   | 861   | 964   | 1076  | 1195  | 1323  |      |
|    | $g$ в кг              | 3,6                  | 4,2  | 4,9  | 5,5  | 6,2  | 7,0  | 7,8  | 8,6  | 9,5  | 10,4 | 11,4  | 12,4 | 13,5  | 14,6  | 15,7  | 16,9  | 18,2  | 19,5  |      |
|   | $F$ в см <sup>2</sup> | 68                   | 77   | 88   | 100  | 113  | 127  | 141  | 157  | 173  | 190  | 207   | 226  | 245   | 265   | 286   | 307   | 330   | 353   |      |
|   | $I$ в см <sup>4</sup> | 200                  | 289  | 354  | 439  | 535  | 635  | 735  | 812  | 1120 | 1361 | 1640  | 1959 | 2322  | 2724  | 3199  | 3720  | 4303  | 4951  | 5670 |
|   | $W$ в см <sup>3</sup> | 51                   | 66   | 81   | 98   | 118  | 140  | 165  | 192  | 222  | 256  | 292   | 332  | 375   | 422   | 472   | 527   | 585   | 648   |      |
|  | $g$ в кг              | 1,8                  | 2,1  | 2,5  | 2,8  | 3,1  | 3,5  | 3,9  | 4,3  | 4,7  | 5,2  | 5,7   | 6,2  | 6,7   | 7,3   | 7,9   | 8,4   | 9,1   | 9,7   |      |
|   | $F$ в см <sup>2</sup> | 33                   | 38,5 | 44   | 50   | 56,5 | 63,5 | 70,5 | 78,5 | 86,5 | 95   | 103,5 | 113  | 122,5 | 132,5 | 143   | 153,5 | 165   | 178,5 |      |
|   | $I$ в см <sup>4</sup> | 100                  | 134  | 177  | 229  | 292  | 367  | 455  | 560  | 680  | 820  | 979   | 1161 | 1367  | 1599  | 1850  | 2151  | 2475  | 2835  |      |
|   | $W$ в см <sup>3</sup> | 26                   | 33   | 40   | 49   | 59   | 70   | 82   | 96   | 111  | 128  | 146   | 166  | 187   | 211   | 236   | 263   | 292   | 324   |      |

Таблица 13

Данные для расчета балок составного сечения

| Сечения   | Ширина<br>$b$ | Высота<br>$H$ | Площадь<br>сечения<br>$F$ | Расстояние<br>наиболее<br>удаленного<br>волока<br>от оси $x-x$<br>$l_{x-x}$ | Статический<br>момент<br>$S_x$            | Момент<br>инерции<br>$I_x$ | Момент<br>сопротивления<br>$W_x$ |
|---|---------------|---------------|---------------------------|---|---|----------------------------|----------------------------------|
|    | $d$           | $2d$          | $1,52d^2$                 | $d$   | $0,393d^3$                                | $0,49d^4$                  | $0,49d^3$                        |
|    | $0,25d$       | $1,968d$      | $1,566d^2$                | $0,984d$  | $0,390d^3$                                | $0,484d^4$                 | $0,493d^3$                       |
|   | $0,333d$      | $1,942d$      | $1,558d^2$                | $0,971d$  | $0,386d^3$                                | $0,478d^4$                 | $0,492d^3$                       |
|   | $0,5d$        | $1,866d$      | $1,526d^2$                | $0,933d$  | $0,370d^3$                                | $0,448d^4$                 | $0,48d^3$                        |
|   | $0,25d$       | $1,936d$      | $1,562d^2$                | $0,968d$  | $0,378d^3$                                | $0,460d^4$                 | $0,475d^3$                       |
|   | $0,333d$      | $1,884d$      | $1,546d^2$                | $0,942d$  | $0,365d^3$                                | $0,434d^4$                 | $0,461d^3$                       |
|   | $0,5d$        | $1,732d$      | $1,48d^2$                 | $0,866d$  | $0,320d^3$                                | $0,355d^4$                 | $0,41d^3$                        |
|  | $b$           | $2h$          | $2bh$                     | $h$   | $0,5bh^3$                                 | $0,666bh^3$                | $0,666bh^2$                      |
|  | $d$           | $d$           | $0,785d^2$                | $0,5d$  | $0,114d^3$                                | $0,08d^4$                  | $0,16d^3$                        |
|  | $b$           | $3h$          | $3bh$                     | $1,5h$  | $S_{I-I} = bh^2$<br>$S_{x-x} = 1,125bh^3$ | $2,25bh^3$                 | $1,5bh^2$                        |

Данные для расчета балок различных сечений

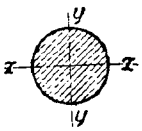
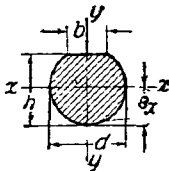
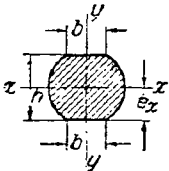
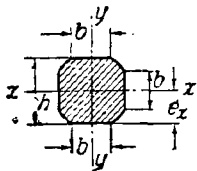
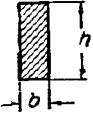
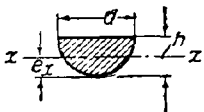
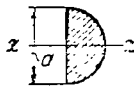
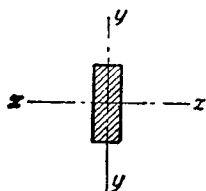
| Сечения   | Ширина<br>$b$                | Высота<br>$h$                    | Площадь<br>сечения<br>$F$              | Расстояние наи-<br>более уда-<br>ленного<br>волокну<br>от оси $x-x$<br>$l_{x-x}$ | Статиче-<br>ский<br>момент<br>$S_x$    | Момент<br>инерции<br>$I_x$             | Момент<br>сопроти-<br>вления<br>$W_x$ | Наимень-<br>ший<br>радиус<br>инерции<br>$r_x$ |
|---|------------------------------|----------------------------------|--|--|--|--|---------------------------------------|---|
|    |                              | $d$                              | $0,785d^2$                             | $0,5d$   | $0,083d^3$                             | $0,049d^4$                             | $0,096d^3$                            | $0,25d$                                       |
|    | $0,25d$<br>$0,333d$          | $0,94d$<br>$0,917d$              | $0,783d^2$<br>$0,779d^2$               | $0,498d$<br>$0,496d$   | $0,082d^3$<br>$0,08d^3$                | $0,048d^4$<br>$0,047d^4$               | $0,096d^3$<br>$0,094d^3$              | $0,248d$<br>$0,246d$                          |
|   | $0,5d$                       | $0,933d$                         | $0,763d^2$                             | $0,486d$   | $0,073d^3$                             | $0,044d^4$                             | $0,088d^3$                            | $0,240d$                                      |
|  | $0,25d$<br>$0,33d$<br>$0,5d$ | $0,986d$<br>$0,942d$<br>$0,866d$ | $0,781d^2$<br>$0,773d^2$<br>$0,740d^2$ | $0,484d$<br>$0,471d$<br>$0,433d$   | $0,081d^3$<br>$0,077d^3$<br>$0,063d^3$ | $0,047d^4$<br>$0,047d^4$<br>$0,039d^4$ | $0,097d^3$<br>$0,095d^3$<br>$0,09d^3$ | $0,247d$<br>$0,241d$<br>$0,230d$              |
|  | $0,5d$<br>$b$                | $0,866d$<br>$h$                  | $0,695d^2$<br>$bh$                     | $0,433d$<br>$0,5h$   | $0,061d^3$<br>$0,125bh^3$              | $0,033d^4$<br>$0,083bh^3$              | $0,089d^3$<br>$0,166bh^2$             | $0,236d$<br>$0,289b$                          |
|  | $d$                          | $0,5d$                           | $0,393d^2$                             | $0,29d$  | $0,022d^3$                             | $0,007d^4$                             | $0,024d^3$                            | $0,135d$                                      |
|  |                              | $d$                              | $0,393d^2$                             | $0,5d$   | $0,041d^3$                             | $0,025d^4$                             | $0,049d^3$                            | $0,135d$                                      |

Таблица 14



Площади  $F$ , моменты инерции  $I$  и моменты сопротивления  $W$  прямоугольных поперечных сечений (применительно к ОСТ ВКС 7099)

| h<br>в см | b<br>в см | F<br>в см <sup>2</sup> | $I_x$<br>в см <sup>4</sup> | $W_x$<br>в см <sup>3</sup> | $I_y$<br>в см <sup>4</sup> | $W_y$<br>в см <sup>3</sup> |
|-----------|-----------|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1         | 1         | 1                      | 0,03                       | 0,17                       | 0,08                       | 0,17                       |
| 2         | 1         | 2                      | 0,67                       | 0,67                       | 0,17                       | 0,33                       |
|           | 2         | 4                      | 1,33                       | 1,33                       | 1,33                       | 1,33                       |
| 2,5       | 1         | 2,5                    | 1,31                       | 1,04                       | 0,20                       | 0,42                       |
|           | 2         | 5                      | 2,62                       | 2,08                       | 1,67                       | 1,67                       |
|           | 2,5       | 6,25                   | 3,27                       | 2,60                       | 3,27                       | 2,60                       |
| 3         | 1         | 3                      | 2,25                       | 1,50                       | 0,25                       | 0,50                       |
|           | 2         | 6                      | 4,50                       | 3,00                       | 2,00                       | 2,00                       |
|           | 2,5       | 7,5                    | 5,63                       | 3,76                       | 3,93                       | 3,12                       |
|           | 3         | 9                      | 6,75                       | 4,50                       | 6,75                       | 4,50                       |
| 3,5       | 1         | 3,5                    | 3,58                       | 2,04                       | 0,29                       | 0,59                       |
|           | 2         | 7,0                    | 7,16                       | 4,08                       | 2,34                       | 2,34                       |
|           | 2,5       | 8,75                   | 8,95                       | 5,05                       | 4,60                       | 3,52                       |
|           | 3         | 10,5                   | 10,50                      | 6,12                       | 7,90                       | 5,25                       |
|           | 3,5       | 12,3                   | 12,60                      | 7,15                       | 12,60                      | 7,15                       |
| 4         | 1         | 4                      | 5,33                       | 2,67                       | 0,33                       | 0,67                       |
|           | 2         | 8                      | 10,7                       | 5,33                       | 2,67                       | 2,67                       |
|           | 2,5       | 10                     | 13,6                       | 6,68                       | 5,24                       | 4,13                       |
|           | 3         | 12                     | 16,0                       | 8,0                        | 9,00                       | 6,00                       |
|           | 3,5       | 14                     | 18,6                       | 9,35                       | 14,8                       | 8,16                       |
|           | 4         | 16                     | 21,3                       | 10,7                       | 21,3                       | 10,7                       |
| 4,5       | 1         | 4,5                    | 7,60                       | 3,40                       | 0,36                       | 0,77                       |
|           | 2         | 9                      | 15,20                      | 6,80                       | 1,67                       | 1,67                       |
|           | 2,5       | 11,2                   | 19                         | 8,50                       | 5,90                       | 4,70                       |
|           | 3         | 13,5                   | 22,8                       | 10,2                       | 10,10                      | 6,75                       |
|           | 3,5       | 15,7                   | 26,6                       | 11,9                       | 16,50                      | 7,15                       |
|           | 4         | 16                     | 30                         | 13,6                       | 23,8                       | 12,00                      |
|           | 4,5       | 20                     | 34,2                       | 15,3                       | 34,2                       | 15,30                      |
| 5         | 1         | 5                      | 10,4                       | 4,17                       | 0,42                       | 0,83                       |
|           | 2         | 10                     | 20,8                       | 8,33                       | 3,33                       | 3,33                       |
|           | 2,5       | 12,5                   | 26                         | 10,4                       | 6,56                       | 5,20                       |
|           | 3         | 15                     | 31,2                       | 12,5                       | 11,2                       | 7,67                       |
|           | 3,5       | 17,5                   | 36,2                       | 14,6                       | 18,4                       | 10,2                       |
|           | 4         | 20                     | 41,7                       | 16,7                       | 26,7                       | 13,3                       |
|           | 4,5       | 22,5                   | 47                         | 18,8                       | 38,0                       | 17,0                       |
|           | 5         | 25                     | 52,1                       | 20,8                       | 52,1                       | 20,8                       |
| 5,5       | 1         | 5,5                    | 13,8                       | 5                          | 0,45                       | 0,92                       |
|           | 2         | 11                     | 27,6                       | 10                         | 3,66                       | 3,66                       |
|           | 2,5       | 13,7                   | 34,5                       | 12,5                       | 7,20                       | 5,70                       |
|           | 3         | 16,5                   | 41,5                       | 15                         | 12,7                       | 8,25                       |
|           | 3,5       | 19,2                   | 48,5                       | 17,5                       | 19,7                       | 11,2                       |
|           | 4         | 22                     | 55                         | 20                         | 29,2                       | 14,6                       |
|           | 4,5       | 24,7                   | 62                         | 22,5                       | 41,8                       | 18,6                       |
|           | 5         | 27,5                   | 69                         | 25                         | 57                         | 22,5                       |
|           | 5,5       | 30,2                   | 76                         | 27,5                       | 76                         | 27,5                       |
| 6         | 1         | 6                      | 18,0                       | 6,00                       | 0,50                       | 1,00                       |
|           | 2         | 12                     | 36,0                       | 12,0                       | 4,00                       | 4,00                       |
|           | 2,5       | 15                     | 45                         | 15                         | 7,83                       | 6,25                       |
|           | 3         | 18                     | 54,0                       | 18,0                       | 13,5                       | 9,00                       |
|           | 3,5       | 21                     | 63                         | 21                         | 22,0                       | 12,25                      |
|           | 4         | 24                     | 72,0                       | 24,0                       | 32,0                       | 16,0                       |
|           | 4,5       | 27                     | 81                         | 27                         | 45,5                       | 20,40                      |
|           | 5         | 30                     | 90,0                       | 30,0                       | 62,5                       | 25,0                       |
|           | 5,5       | 33                     | 99                         | 33                         | 83                         | 30                         |
|           | 6         | 36                     | 108                        | 36,0                       | 108                        | 36,0                       |
| 7         | 1         | 7                      | 23,6                       | 8,17                       | 0,58                       | 1,17                       |
|           | 2         | 14                     | 57,2                       | 16,3                       | 4,67                       | 4,67                       |
|           | 2,5       | 17,5                   | 71,5                       | 20,4                       | 9,20                       | 7,30                       |
|           | 3         | 21                     | 85,7                       | 24,5                       | 15,7                       | 10,5                       |
|           | 3,5       | 21,5                   | 100                        | 24,4                       | 26,7                       | 14,3                       |
|           | 4         | 28                     | 114                        | 32,7                       | 37,3                       | 18,3                       |
|           | 4,5       | 31,5                   | 129                        | 36,8                       | 53,2                       | 23,8                       |
|           | 5         | 35                     | 143                        | 40,8                       | 72,9                       | 29,2                       |
|           | 6,5       | 38,5                   | 157                        | 44,8                       | 97                         | 35                         |
|           | 42        | 171                    | 49,0                       | 126                        | 42,0                       | 8,00                       |
|           | 7         | 49                     | 200                        | 57,2                       | 200                        | 57,2                       |

| h<br>в см | b<br>в см | F<br>в см <sup>2</sup> | $I_x$<br>в см <sup>4</sup> | $W_x$<br>в см <sup>3</sup> | $I_y$<br>в см <sup>4</sup> | $W_y$<br>в см <sup>3</sup> |
|-----------|-----------|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|           | 1         | 8                      | 42,7                       | 10,7                       | 0,67                       | 1,33                       |
|           | 2         | 16                     | 85,3                       | 21,3                       | 5,33                       | 5,33                       |
|           | 2,5       | 20                     | 117                        | 26,8                       | 10,5                       | 8,30                       |
|           | 3         | 24                     | 128                        | 32,0                       | 18,0                       | 12,0                       |
|           | 3,5       | 28                     | 150                        | 37,5                       | 28,6                       | 16,3                       |
|           | 4         | 32                     | 171                        | 42,7                       | 42,7                       | 21,3                       |
|           | 4,5       | 36                     | 193                        | 48,0                       | 61                         | 27,2                       |
|           | 5         | 40                     | 213                        | 53,3                       | 83,3                       | 33,3                       |
|           | 5,5       | 44                     | 234                        | 58,6                       | 110                        | 40                         |
|           | 6         | 48                     | 256                        | 64,0                       | 144                        | 48,0                       |
|           | 7         | 49                     | 299                        | 74,7                       | 299                        | 65,3                       |
|           | 8         | 64                     | 341                        | 85,3                       | 341                        | 85,3                       |
| 8         | 1         | 8,5                    | 51,2                       | 12                         | 0,70                       | 1,42                       |
|           | 2         | 17                     | 102,4                      | 24                         | 5,67                       | 5,67                       |
|           | 2,5       | 21,2                   | 128                        | 30                         | 11,10                      | 8,90                       |
|           | 3         | 25,5                   | 153                        | 36                         | 19,1                       | 12,7                       |
|           | 3,5       | 29,7                   | 179                        | 42                         | 29,6                       | 17,0                       |
|           | 4         | 34                     | 204                        | 48                         | 45                         | 22,4                       |
|           | 4,5       | 38,2                   | 230                        | 54                         | 64,5                       | 29                         |
|           | 5         | 42,5                   | 256                        | 60                         | 88,5                       | 36,4                       |
|           | 5,5       | 46,7                   | 282                        | 66                         | 117                        | 42,5                       |
|           | 6         | 51                     | 314                        | 72                         | 153                        | 51                         |
|           | 7         | 59,5                   | 366                        | 81                         | 242                        | 69,5                       |
|           | 8         | 68                     | 420                        | 96                         | 362                        | 91                         |
|           | 8,5       | 72,2                   | 445                        | 102                        | 435                        | 102                        |
| 8,5       | 1         | 8,5                    | 51,2                       | 12                         | 0,70                       | 1,42                       |
|           | 2         | 17                     | 102,4                      | 24                         | 5,67                       | 5,67                       |
|           | 2,5       | 21,2                   | 128                        | 30                         | 11,10                      | 8,90                       |
|           | 3         | 25,5                   | 153                        | 36                         | 19,1                       | 12,7                       |
|           | 3,5       | 29,7                   | 179                        | 42                         | 29,6                       | 17,0                       |
|           | 4         | 34                     | 204                        | 48                         | 45                         | 22,4                       |
|           | 4,5       | 38,2                   | 230                        | 54                         | 64,5                       | 29                         |
|           | 5         | 42,5                   | 256                        | 60                         | 88,5                       | 36,4                       |
|           | 5,5       | 46,7                   | 282                        | 66                         | 117                        | 42,5                       |
|           | 6         | 51                     | 314                        | 72                         | 153                        | 51                         |
|           | 7         | 59,5                   | 366                        | 81                         | 242                        | 69,5                       |
|           | 8         | 68                     | 420                        | 96                         | 362                        | 91                         |
|           | 8,5       | 72,2                   | 445                        | 102                        | 435                        | 102                        |
| 9         | 1         | 9                      | 60,7                       | 13,5                       | 0,75                       | 1,50                       |
|           | 2         | 18                     | 121                        | 27,0                       | 6,00                       | 6,00                       |
|           | 2,5       | 22,5                   | 15,2                       | 33,8                       | 11,8                       | 9,40                       |
|           | 3         | 27                     | 18                         | 40,5                       | 20,2                       | 13,5                       |
|           | 3,5       | 31,5                   | 21,2                       | 47,3                       | 32,2                       | 18,35                      |
|           | 4         | 36                     | 243                        | 54,0                       | 48,0                       | 24,0                       |
|           | 4,5       | 40,5                   | 27,3                       | 60,7                       | 69,5                       | 33,0                       |
|           | 5         | 45                     | 304                        | 67,5                       | 93,7                       | 37,5                       |
|           | 5,5       | 49,5                   | 334                        | 74,2                       | 124                        | 45                         |
|           | 6         | 54                     | 364                        | 81,0                       | 162                        | 54,0                       |
|           | 7         | 63                     | 425                        | 94,5                       | 25,7                       | 73,5                       |
|           | 8         | 72                     | 498                        | 108                        | 384                        | 96,0                       |
|           | 8,5       | 76,5                   | 516                        | 115                        | 460                        | 108                        |
|           | 9         | 81                     | 547                        | 121                        | 547                        | 121                        |
| 10        | 1         | 10                     | 833                        | 16,7                       | 0,83                       | 1,67                       |
|           | 2         | 20                     | 167                        | 33,3                       | 6,67                       | 6,67                       |
|           | 2,5       | 25                     | 208                        | 42,0                       | 13,10                      | 10,40                      |
|           | 3         | 30                     | 250                        | 50,0                       | 22,5                       | 15,0                       |
|           | 3,5       | 35                     | 292                        | 58,5                       | 35,8                       | 20,4                       |
|           | 4         | 40                     | 333                        | 66,7                       | 53,3                       | 26,7                       |
|           | 4,5       | 45                     | 376                        | 75,0                       | 76,0                       | 34,0                       |
|           | 5         | 50                     | 417                        | 83,3                       | 104                        | 41,7                       |
|           | 5,5       | 55                     | 458                        | 91,6                       | 133                        | 50                         |
|           | 6         | 60                     | 500                        | 100                        | 180                        | 60,0                       |
|           | 7         | 70                     | 533                        | 117                        | 286                        | 81,7                       |
|           | 8         | 80                     | 667                        | 133                        | 417                        | 107                        |
|           | 8,5       | 85                     | 703                        | 141                        | 512                        | 120                        |
|           | 9         | 90                     | 750                        | 150                        | 607                        | 135                        |
|           | 10        | 100                    | 833                        | 167                        | 833                        | 167                        |
| 11        | 1         | 11                     | 111                        | 20,2                       | 0,92                       | 1,83                       |
|           | 2         | 22                     | 222                        | 40,3                       | 7,33                       | 7,33                       |
|           | 2,5       | 27,5                   | 278                        | 50,5                       | 14,40                      | 11,40                      |
|           | 3         | 33                     | 333                        | 60,5                       | 24,7                       | 16,5                       |
|           | 3,5       | 39,5                   | 390                        | 71                         | 39,4                       | 22,4                       |
|           | 4         | 44                     | 444                        | 80,7                       | 53,7                       | 29,3                       |
|           | 4,5       | 49,5                   | 500                        | 91                         | 83,5                       | 37,4                       |
|           | 5         | 55                     | 555                        | 101                        | 115                        | 45,8                       |
|           | 5,5       | 60,5                   | 610                        | 110,5                      | 152                        | 55,0                       |
|           | 6         | 66                     | 665                        | 121                        | 198                        | 66,0                       |
|           | 7         | 77                     | 776                        | 141                        | 314                        | 89,8                       |
|           | 8         | 88                     | 887                        | 161                        | 469                        | 117                        |
|           | 8,5       | 93,5                   | 941                        | 171                        | 562                        | 132                        |
|           | 9         | 99                     | 993                        | 181                        | 668                        | 148                        |
|           | 10        | 110                    | 1109                       | 202                        | 917                        | 183                        |
|           | 11        | 121                    | 1220                       | 221                        | 1220                       | 222                        |
| 12        | 1         | 12                     | 144                        | 24,0                       | 1,00                       | 2,00                       |
|           | 2         | 24                     | 288                        | 48,0                       | 8,00                       | 8,00                       |
|           | 2,5       | 30                     | 360                        | 60,0                       | 15,70                      | 12,5                       |

| h    | b     | F                 | I <sub>x</sub>    | W <sub>x</sub>    | I <sub>y</sub>    | W <sub>y</sub>    |
|------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| в см | в см  | в см <sup>2</sup> | в см <sup>4</sup> | в см <sup>3</sup> | в см <sup>4</sup> | в см <sup>3</sup> |
| 3    | 26    | 432               | 72,0              | 27,0              | 18,0              |                   |
| 3,5  | 42    | 505               | 84,0              | 43,0              | 24,4              |                   |
| 4    | 48    | 576               | 96,0              | 64,0              | 32,0              |                   |
| 4,5  | 54    | 650               | 108,0             | 91,0              | 42,5              |                   |
| 5    | 60    | 720               | 120               | 125               | 50,0              |                   |
| 5,5  | 65    | 792               | 132               | 166               | 60,0              |                   |
| 6    | 72    | 864               | 144               | 216               | 72,0              |                   |
| 7    | 84    | 1 008             | 168               | 343               | 98,0              |                   |
| 8    | 96    | 1 152             | 192               | 512               | 125               |                   |
| 8,5  | 102   | 1 224             | 204               | 615               | 144               |                   |
| 9    | 108   | 1 296             | 216               | 729               | 162               |                   |
| 10   | 120   | 1 440             | 240               | 1 000             | 200               |                   |
| 11   | 132   | 1 584             | 264               | 1 331             | 242               |                   |
| 12   | 144   | 1 728             | 288               | 1 728             | 288               |                   |
| 1    | 13    | 183               | 23,2              | 1,08              | 2,17              |                   |
| 2    | 26    | 336               | 56,3              | 8,57              | 5,67              |                   |
| 2,5  | 32,5  | 457               | 70,5              | 17,0              | 13,5              |                   |
| 3    | 39    | 549               | 84,5              | 29,2              | 19,5              |                   |
| 3,5  | 45,5  | 640               | 98,7              | 46,5              | 26,5              |                   |
| 4    | 52    | 732               | 113               | 69,3              | 34,7              |                   |
| 4,5  | 58,5  | 825               | 127               | 99,0              | 44,3              |                   |
| 5    | 65    | 915               | 141               | 135               | 54,2              |                   |
| 5,5  | 71,5  | 1 007             | 155               | 180               | 65,0              |                   |
| 6    | 78    | 1 098             | 169               | 234               | 78,0              |                   |
| 7    | 91    | 1 202             | 197               | 312               | 106               |                   |
| 8    | 104   | 1 465             | 225               | 555               | 139               |                   |
| 8,5  | 116,5 | 1 556             | 239               | 665               | 156               |                   |
| 9    | 117   | 1 644             | 253               | 790               | 175               |                   |
| 10   | 130   | 1 831             | 282               | 1 083             | 217               |                   |
| 11   | 143   | 2 014             | 310               | 1 442             | 262               |                   |
| 12   | 156   | 2 187             | 338               | 1 872             | 312               |                   |
| 13   | 169   | 2 360             | 366               | 2 350             | 366               |                   |
| 1    | 14    | 229               | 32,7              | 1,17              | 2,33              |                   |
| 2    | 28    | 457               | 65,3              | 9,33              | 9,33              |                   |
| 2,5  | 35    | 575               | 74,5              | 18,4              | 14,60             |                   |
| 3    | 42    | 686               | 93,0              | 31,5              | 21,0              |                   |
| 3,5  | 49    | 805               | 103               | 50,0              | 28,6              |                   |
| 4    | 56    | 915               | 131               | 74,7              | 37,3              |                   |
| 4,5  | 63    | 1 030             | 137               | 106               | 47,5              |                   |
| 5    | 70    | 1 143             | 163               | 146               | 59,3              |                   |
| 5,5  | 77    | 1 257             | 179               | 193,5             | 70,0              |                   |
| 6    | 84    | 1 372             | 195               | 252               | 84,0              |                   |
| 7    | 98    | 1 601             | 229               | 403               | 114               |                   |
| 8    | 112   | 1 829             | 261               | 587               | 149               |                   |
| 8,5  | 119   | 1 943             | 277               | 715               | 168               |                   |
| 9    | 125   | 2 078             | 294               | 850               | 189               |                   |
| 10   | 140   | 2 287             | 327               | 1 167             | 233               |                   |
| 11   | 154   | 2 515             | 359               | 1 553             | 282               |                   |
| 12   | 168   | 2 744             | 392               | 2 016             | 336               |                   |
| 13   | 182   | 2 973             | 425               | 2 563             | 394               |                   |
| 14   | 196   | 3 201             | 457               | 3 201             | 457               |                   |
| 1    | 15    | 281               | 37,5              | 1,25              | 2,50              |                   |
| 2    | 30    | 562               | 75,0              | 10,0              | 19,0              |                   |
| 2,5  | 37,5  | 705               | 94                | 19,6              | 15,6              |                   |
| 3    | 45    | 844               | 112               | 33,7              | 22,5              |                   |
| 3,5  | 52,5  | 985               | 131               | 53,8              | 30,6              |                   |
| 4    | 60    | 1 125             | 180               | 80,0              | 40,0              |                   |
| 4,5  | 67,5  | 1 265             | 169               | 114               | 51,0              |                   |
| 5    | 75    | 1 406             | 187               | 156               | 62,5              |                   |
| 5,5  | —     | —                 | —                 | 207               | 75                |                   |
| 6    | 90    | 1 687             | 225               | 270               | 90,0              |                   |
| 7    | 105   | 1 969             | 262               | 429               | 122               |                   |
| 8    | 120   | 2 250             | 300               | 640               | 160               |                   |
| 8,5  | 127,5 | 2 391             | 319               | 767               | 180               |                   |
| 9    | 135   | 2 531             | 337               | 911               | 202               |                   |
| 10   | 150   | 2 812             | 375               | 1 250             | 250               |                   |
| 11   | 165   | 3 094             | 412               | 1 654             | 302               |                   |
| 12   | 180   | 3 375             | 450               | 2 160             | 360               |                   |
| 13   | 195   | 3 656             | 487               | 2 746             | 422               |                   |
| 14   | 210   | 3 937             | 525               | 3 430             | 490               |                   |
| 15   | 225   | 4 219             | 562               | 4 219             | 562               |                   |
| 1    | 16    | 341               | 42,7              | 1,33              | 2,67              |                   |
| 2    | 32    | 683               | 85,3              | 10,7              | 10,7              |                   |
| 2,5  | 40    | 855               | 107               | 21,0              | 16,6              |                   |
| 3    | 48    | 1 024             | 128               | 36,0              | 24,0              |                   |
| 3,5  | 56    | 1 200             | 143               | 57,5              | 32,4              |                   |
| 4    | 64    | 1 385             | 171               | 85,3              | 42,7              |                   |
| 4,5  | 72    | 1 540             | 192               | 122               | 54,5              |                   |
| 5    | 80    | 1 707             | 213               | 167               | 66,7              |                   |
| 5,5  | 88    | 1 877             | 234               | 221               | 80                |                   |
| 6    | 96    | 2 044             | 256               | 288               | 96,0              |                   |
| 7    | 112   | 2 385             | 299               | 457               | 131               |                   |
| 8    | 128   | 2 731             | 341               | 638               | 171               |                   |
| 8,5  | 136   | 2 901             | 362               | 820               | 192               |                   |

| h    | b     | F                 | I <sub>x</sub>    | W <sub>x</sub>    | I <sub>y</sub>    | W <sub>y</sub>    |
|------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| в см | в см  | в см <sup>2</sup> | в см <sup>4</sup> | в см <sup>3</sup> | в см <sup>4</sup> | в см <sup>3</sup> |
| 9    | 144   | 3 072             | 394               | 972               | 216               |                   |
| 10   | 160   | 3 413             | 427               | 1 333             | 267               |                   |
| 11   | 176   | 3 755             | 469               | 1 775             | 323               |                   |
| 12   | 196   | 4 086             | 512               | 2 304             | 384               |                   |
| 13   | 208   | 4 427             | 555               | 2 929             | 451               |                   |
| 14   | 224   | 4 779             | 597               | 3 659             | 523               |                   |
| 15   | 240   | 5 120             | 640               | 4 500             | 600               |                   |
| 16   | 256   | 5 461             | 683               | 5 461             | 683               |                   |
| 1    | 17    | 409               | 48,2              | 1,42              | 2,83              |                   |
| 2    | 34    | 819               | 96,3              | 11,3              | 11,3              |                   |
| 2,5  | 42,5  | 1 010             | 120               | 22,3              | 17,7              |                   |
| 3    | 51    | 1 228             | 144               | 38,2              | 25,5              |                   |
| 3,5  | 60    | 1 430             | 168               | 61,0              | 35,4              |                   |
| 4    | 68    | 1 638             | 193               | 90,7              | 45,3              |                   |
| 4,5  | 77,5  | 1 840             | 217               | 129               | 58,8              |                   |
| 5    | 85    | 2 047             | 241               | 177               | 70,8              |                   |
| 5,5  | 93,5  | 2 252             | 265               | 235               | 85                |                   |
| 6    | 102   | 2 456             | 289               | 306               | 102               |                   |
| 7    | 119   | 2 866             | 337               | 486               | 139               |                   |
| 8    | 135   | 3 275             | 385               | 725               | 181               |                   |
| 8,5  | 144,5 | 3 480             | 409               | 870               | 204               |                   |
| 9    | 153   | 3 685             | 433               | 1 033             | 229               |                   |
| 10   | 170   | 4 094             | 482               | 1 417             | 283               |                   |
| 11   | 187   | 4 504             | 530               | 1 866             | 343               |                   |
| 12   | 204   | 4 913             | 578               | 2 448             | 403               |                   |
| 13   | 221   | 5 322             | 626               | 3 117             | 479               |                   |
| 14   | 238   | 5 732             | 674               | 3 882             | 555               |                   |
| 15   | 255   | 6 141             | 722               | 4 731             | 637               |                   |
| 16   | 272   | 6 551             | 771               | 5 603             | 725               |                   |
| 17   | 289   | 6 960             | 819               | 6 560             | 819               |                   |
| 1    | 18    | 486               | 54,0              | 1,50              | 3,00              |                   |
| 2    | 36    | 972               | 108               | 12,0              | 12,0              |                   |
| 2,5  | 45    | 1 220             | 135               | 23,6              | 18,7              |                   |
| 3    | 54    | 1 458             | 162               | 40,5              | 27,0              |                   |
| 3,5  | 63    | 1 700             | 189               | 64,5              | 37,4              |                   |
| 4    | 72    | 1 944             | 214               | 95,0              | 48,0              |                   |
| 4,5  | 81    | 2 190             | 243               | 137               | 61,3              |                   |
| 5    | 90    | 2 480             | 270               | 187               | 75,0              |                   |
| 5,5  | 99    | 2 673             | 297               | 249               | 90                |                   |
| 6    | 108   | 2 916             | 324               | 324               | 108               |                   |
| 7    | 126   | 3 402             | 378               | 514               | 147               |                   |
| 8    | 144   | 3 888             | 432               | 768               | 192               |                   |
| 8,5  | 153   | 4 131             | 459               | 922               | 216               |                   |
| 9    | 162   | 4 374             | 486               | 1 093             | 243               |                   |
| 10   | 180   | 4 860             | 540               | 1 500             | 300               |                   |
| 11   | 198   | 5 346             | 594               | 1 996             | 363               |                   |
| 12   | 216   | 5 832             | 648               | 2 592             | 432               |                   |
| 13   | 234   | 6 318             | 702               | 3 295             | 507               |                   |
| 14   | 252   | 6 804             | 756               | 4 116             | 588               |                   |
| 15   | 270   | 7 290             | 810               | 5 062             | 675               |                   |
| 16   | 288   | 7 776             | 864               | 6 144             | 768               |                   |
| 17   | 306   | 8 262             | 918               | 7 369             | 867               |                   |
| 18   | 324   | 8 748             | 972               | 8 748             | 972               |                   |
| 1    | 19    | 572               | 60,2              | 1,58              | 3,17              |                   |
| 2    | 38    | 1 143             | 120               | 12,7              | 12,7              |                   |
| 2,5  | 47,5  | 1 430             | 152               | 24,9              | 26,0              |                   |
| 3    | 57    | 1 715             | 180               | 42,7              | 38,5              |                   |
| 3,5  | 66,5  | 2 000             | 212               | 68                | 39,6              |                   |
| 4    | 76    | 2 286             | 241               | 101               | 50,7              |                   |
| 4,5  | 85,5  | 2 590             | 272               | 144               | 64,5              |                   |
| 5    | 95    | 2 858             | 301               | 198               | 79,2              |                   |
| 5,5  | 104,5 | 3 143             | 331               | 263               | 95                |                   |
| 6    | 114   | 3 429             | 361               | 342               | 114               |                   |
| 7    | 133   | 4 001             | 421               | 543               | 155               |                   |
| 8    | 152   | 4 573             | 481               | 811               | 203               |                   |
| 8,5  | 161   | 4 858             | 511               | 970               | 228               |                   |
| 9    | 171   | 5 144             | 541               | 1 154             | 256               |                   |
| 10   | 190   | 5 716             | 602               | 1 583             | 317               |                   |
| 11   | 209   | 6 287             | 662               | 2 107             | 383               |                   |
| 12   | 228   | 6 859             | 722               | 2 736             | 456               |                   |
| 13   | 247   | 7 431             | 782               | 3 479             | 535               |                   |
| 14   | 266   | 8 002             | 842               | 4 345             | 621               |                   |
| 15   | 285   | 8 574             | 902               | 5 344             | 712               |                   |
| 16   | 304   | 9 145             | 963               | 6 485             | 811               |                   |
| 17   | 323   | 9 717             | 1 023             | 7 779             | 915               |                   |
| 18   | 342   | 10 288            | 1 083             | 9 234             | 1 026             |                   |
| 19   | 361   | 10 860            | 1 143             | 10 850            | 1 143             |                   |
| 1    | 20    | 667               | 66,7              | 1,67              | 3,33              |                   |
| 2    | 40    | 1 333             | 133               | 13,3              | 13,3              |                   |
| 2,5  | 50    | 1 670             | 167               | 26,7              | 20,8              |                   |
| 3    | 60    | 2 000             | 200               | 45,0              | 30,0              |                   |
| 3,5  | 70    | 2 340             | 234               | 71,6              | 40,0              |                   |
| 4    | 80    | 2 667             | 267               | 107               | 58,3              |                   |
| 4,5  | 90    | 3 000             | 300               | 152               | 68,0              |                   |

Продолжение

| h<br>в см | b<br>в см | F<br>в см <sup>2</sup> | I <sub>x</sub><br>в см <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>в см <sup>3</sup> | I <sub>y</sub><br>в см <sup>4</sup> | W <sub>y</sub><br>в см <sup>3</sup> |
|-----------|-----------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 20        | 5         | 100                    | 3 333                               | 333                                 | 208                                 | 83,3                                |
|           | 5,5       | 119                    | 3 669                               | 366                                 | 276                                 | 100                                 |
|           | 6         | 120                    | 4 000                               | 400                                 | 360                                 | 120                                 |
|           | 7         | 140                    | 4 667                               | 467                                 | 572                                 | 163                                 |
|           | 8         | 160                    | 5 333                               | 533                                 | 853                                 | 213                                 |
|           | 8,5       | 170                    | 5 666                               | 600                                 | 1 024                               | 240                                 |
|           | 9         | 180                    | 6 000                               | 600                                 | 1 215                               | 270                                 |
|           | 10        | 200                    | 6 667                               | 667                                 | 1 667                               | 333                                 |
|           | 11        | 220                    | 7 333                               | 733                                 | 2 218                               | 403                                 |
|           | 12        | 240                    | 8 000                               | 800                                 | 2 880                               | 480                                 |
|           | 13        | 260                    | 8 667                               | 867                                 | 3 662                               | 563                                 |
|           | 14        | 280                    | 9 333                               | 933                                 | 4 573                               | 653                                 |
| 15        | 300       | 10 000                 | 1 000                               | 5 625                               | 750                                 |                                     |
| 16        | 320       | 10 667                 | 1 067                               | 6 827                               | 853                                 |                                     |
| 17        | 340       | 11 333                 | 1 133                               | 8 188                               | 963                                 |                                     |
| 18        | 360       | 12 000                 | 1 200                               | 9 720                               | 1 080                               |                                     |
| 19        | 380       | 12 667                 | 1 267                               | 11 432                              | 1 203                               |                                     |
| 20        | 400       | 13 333                 | 1 333                               | 13 333                              | 1 333                               |                                     |
| 21        | 1         | 21                     | 772                                 | 73,5                                | 1,75                                | 3,50                                |
|           | 2         | 42                     | 1 543                               | 147                                 | 14,0                                | 14,0                                |
|           | 2,5       | 52,5                   | 1 930                               | 187                                 | 27,6                                | 21,8                                |
|           | 3         | 63                     | 2 315                               | 220                                 | 47,2                                | 31,5                                |
|           | 3,5       | 73,5                   | 2 700                               | 256                                 | 75,5                                | 43,0                                |
|           | 4         | 84                     | 3 087                               | 294                                 | 112                                 | 56,0                                |
|           | 4,5       | 95                     | 3 480                               | 330                                 | 159                                 | 71,5                                |
|           | 5         | 105                    | 3 859                               | 367                                 | 219                                 | 87,5                                |
|           | 5,5       | 115,5                  | 4 244                               | 404                                 | 290                                 | 105                                 |
|           | 6         | 126                    | 4 630                               | 441                                 | 378                                 | 126                                 |
|           | 7         | 147                    | 5 402                               | 514                                 | 600                                 | 171                                 |
|           | 8         | 168                    | 6 174                               | 588                                 | 896                                 | 224                                 |
| 8,5       | 178,5     | 6 560                  | 624                                 | 1 072                               | 252                                 |                                     |
| 9         | 189       | 6 946                  | 661                                 | 1 276                               | 283                                 |                                     |
| 10        | 210       | 7 717                  | 736                                 | 1 750                               | 350                                 |                                     |
| 11        | 231       | 8 489                  | 808                                 | 2 329                               | 423                                 |                                     |
| 12        | 252       | 9 261                  | 882                                 | 3 024                               | 504                                 |                                     |
| 13        | 273       | 10 033                 | 955                                 | 3 845                               | 591                                 |                                     |
| 14        | 294       | 10 804                 | 1 029                               | 4 802                               | 686                                 |                                     |
| 15        | 315       | 11 576                 | 1 102                               | 5 906                               | 787                                 |                                     |
| 16        | 336       | 12 348                 | 1 176                               | 7 168                               | 896                                 |                                     |
| 17        | 357       | 13 120                 | 1 249                               | 8 599                               | 1 011                               |                                     |
| 18        | 378       | 13 891                 | 1 323                               | 10 206                              | 1 134                               |                                     |
| 19        | 399       | 14 663                 | 1 396                               | 12 003                              | 1 263                               |                                     |
| 20        | 420       | 15 435                 | 1 470                               | 14 000                              | 1 400                               |                                     |
| 21        | 441       | 16 207                 | 1 543                               | 16 207                              | 1 543                               |                                     |
| 22        | 1         | 22                     | 887                                 | 80,7                                | 1,83                                | 3,67                                |
|           | 2         | 44                     | 1 775                               | 161                                 | 14,7                                | 14,7                                |
|           | 2,5       | 55                     | 2 220                               | 201                                 | 28,8                                | 22,9                                |
|           | 3         | 66                     | 2 662                               | 242                                 | 49,5                                | 33,0                                |
|           | 3,5       | 77                     | 3 110                               | 282                                 | 79,0                                | 45,0                                |
|           | 4         | 88                     | 3 549                               | 323                                 | 117                                 | 58,7                                |
|           | 4,5       | 99                     | 4 000                               | 364                                 | 167                                 | 75,0                                |
|           | 5         | 110                    | 4 435                               | 403                                 | 229                                 | 91,7                                |
|           | 5,5       | 121                    | 4 880                               | 443                                 | 304                                 | 110                                 |
|           | 6         | 132                    | 5 324                               | 484                                 | 396                                 | 132                                 |
|           | 7         | 154                    | 6 211                               | 565                                 | 629                                 | 180                                 |
|           | 8         | 176                    | 7 099                               | 645                                 | 939                                 | 235                                 |
| 8,5       | 187       | 7 543                  | 685                                 | 1 125                               | 264                                 |                                     |
| 9         | 198       | 7 986                  | 726                                 | 1 336                               | 297                                 |                                     |
| 10        | 220       | 8 973                  | 807                                 | 1 833                               | 367                                 |                                     |
| 11        | 242       | 9 761                  | 887                                 | 2 440                               | 444                                 |                                     |
| 12        | 264       | 10 648                 | 968                                 | 3 168                               | 528                                 |                                     |
| 13        | 286       | 11 585                 | 1 049                               | 4 028                               | 620                                 |                                     |
| 14        | 308       | 12 422                 | 1 129                               | 5 031                               | 719                                 |                                     |
| 15        | 330       | 13 310                 | 1 210                               | 6 187                               | 825                                 |                                     |
| 16        | 352       | 14 197                 | 1 291                               | 7 509                               | 939                                 |                                     |
| 17        | 374       | 15 085                 | 1 371                               | 9 007                               | 1 060                               |                                     |
| 18        | 396       | 15 972                 | 1 452                               | 10 692                              | 1 188                               |                                     |
| 19        | 418       | 16 859                 | 1 533                               | 12 575                              | 1 324                               |                                     |
| 20        | 440       | 17 747                 | 1 613                               | 14 667                              | 1 467                               |                                     |
| 21        | 462       | 18 634                 | 1 694                               | 16 970                              | 1 617                               |                                     |
| 22        | 484       | 19 521                 | 1 775                               | 19 521                              | 1 775                               |                                     |
| 23        | 1         | 23                     | 1 014                               | 88,2                                | 1,92                                | 3,88                                |
|           | 2         | 46                     | 2 028                               | 176                                 | 15,3                                | 15,3                                |
|           | 2,5       | 57,5                   | 2 540                               | 220                                 | 30,0                                | 24,0                                |
|           | 3         | 69                     | 3 042                               | 264                                 | 51,7                                | 34,5                                |
|           | 3,5       | 80,5                   | 3 590                               | 308                                 | 75,5                                | 47,0                                |
|           | 4         | 92                     | 4 056                               | 353                                 | 123                                 | 61,3                                |
|           | 4,5       | 104                    | 4 580                               | 396                                 | 175                                 | 78,5                                |
|           | 5         | 115                    | 5 070                               | 441                                 | 240                                 | 95,8                                |
|           | 5,5       | 126                    | 5 576                               | 485                                 | 318                                 | 115                                 |
|           | 6         | 138                    | 6 083                               | 529                                 | 414                                 | 138                                 |
|           | 7         | 161                    | 7 097                               | 617                                 | 657                                 | 187                                 |
|           | 8         | 184                    | 8 111                               | 705                                 | 981                                 | 245                                 |
| 8,5       | 195,5     | 8 618                  | 749                                 | 1 178                               | 276                                 |                                     |
| 9         | 207       | 9 125                  | 793                                 | 1 397                               | 310                                 |                                     |

| h<br>в см | b<br>в см | F<br>в см <sup>2</sup> | I <sub>x</sub><br>в см <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>в см <sup>3</sup> | I <sub>y</sub><br>в см <sup>4</sup> | W <sub>y</sub><br>в см <sup>3</sup> |
|-----------|-----------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 23        | 10        | 230                    | 10 139                              | 882                                 | 1 917                               | 393                                 |
|           | 11        | 253                    | 11 153                              | 970                                 | 2 551                               | 464                                 |
|           | 12        | 276                    | 12 167                              | 1 058                               | 3 312                               | 552                                 |
|           | 13        | 299                    | 13 181                              | 1 146                               | 4 211                               | 648                                 |
|           | 14        | 322                    | 14 195                              | 1 234                               | 5 259                               | 751                                 |
|           | 15        | 345                    | 15 209                              | 1 322                               | 6 469                               | 862                                 |
|           | 16        | 368                    | 16 223                              | 1 411                               | 7 851                               | 981                                 |
|           | 17        | 391                    | 17 237                              | 1 499                               | 9 417                               | 1 107                               |
|           | 18        | 414                    | 18 250                              | 1 587                               | 11 178                              | 1 262                               |
|           | 19        | 437                    | 19 264                              | 1 675                               | 13 146                              | 1 384                               |
|           | 20        | 460                    | 20 278                              | 1 763                               | 15 333                              | 1 533                               |
|           | 21        | 483                    | 21 292                              | 1 851                               | 17 750                              | 1 690                               |
| 22        | 506       | 22 306                 | 1 940                               | 20 409                              | 1 855                               |                                     |
| 23        | 529       | 23 320                 | 2 028                               | 23 820                              | 2 028                               |                                     |
| 24        | 1         | 24                     | 1 152                               | 96,0                                | 2,0                                 | 4,0                                 |
|           | 2         | 48                     | 2 304                               | 192                                 | 16,0                                | 16,0                                |
|           | 2,5       | 60                     | 2 900                               | 240                                 | 31,5                                | 25,0                                |
|           | 3         | 72                     | 3 456                               | 288                                 | 54,0                                | 36,0                                |
|           | 3,5       | 84                     | 4 050                               | 336                                 | 86,0                                | 50,0                                |
|           | 4         | 96                     | 4 608                               | 384                                 | 128                                 | 64,0                                |
|           | 4,5       | 108                    | 5 200                               | 432                                 | 182                                 | 81,5                                |
|           | 5         | 120                    | 5 760                               | 480                                 | 250                                 | 100                                 |
|           | 5,5       | 132                    | 6 336                               | 528                                 | 332                                 | 120                                 |
|           | 6         | 144                    | 6 912                               | 576                                 | 432                                 | 144                                 |
|           | 7         | 168                    | 8 064                               | 672                                 | 686                                 | 196                                 |
|           | 8         | 192                    | 9 216                               | 768                                 | 1 024                               | 256                                 |
| 8,5       | 204       | 9 792                  | 816                                 | 1 227                               | 288                                 |                                     |
| 9         | 216       | 10 368                 | 864                                 | 1 458                               | 324                                 |                                     |
| 10        | 240       | 11 520                 | 960                                 | 2 000                               | 400                                 |                                     |
| 11        | 264       | 12 672                 | 1 056                               | 2 662                               | 484                                 |                                     |
| 12        | 288       | 13 824                 | 1 152                               | 3 456                               | 576                                 |                                     |
| 13        | 312       | 14 976                 | 1 248                               | 4 394                               | 676                                 |                                     |
| 14        | 336       | 16 128                 | 1 344                               | 5 488                               | 784                                 |                                     |
| 15        | 360       | 17 280                 | 1 440                               | 6 750                               | 900                                 |                                     |
| 16        | 384       | 18 432                 | 1 536                               | 8 192                               | 1 024                               |                                     |
| 17        | 408       | 19 584                 | 1 632                               | 9 826                               | 1 166                               |                                     |
| 18        | 432       | 20 736                 | 1 728                               | 11 664                              | 1 296                               |                                     |
| 19        | 456       | 21 888                 | 1 824                               | 13 718                              | 1 444                               |                                     |
| 20        | 480       | 23 040                 | 1 920                               | 16 000                              | 1 600                               |                                     |
| 21        | 504       | 24 192                 | 2 016                               | 18 522                              | 1 764                               |                                     |
| 22        | 528       | 25 344                 | 2 112                               | 21 296                              | 1 936                               |                                     |
| 23        | 552       | 26 496                 | 2 208                               | 24 334                              | 2 116                               |                                     |
| 24        | 576       | 27 648                 | 2 304                               | 27 648                              | 2 304                               |                                     |
| 25        | 1         | 25                     | 1 302                               | 104                                 | 2,08                                | 4,17                                |
|           | 2         | 50                     | 2 604                               | 208                                 | 16,7                                | 16,7                                |
|           | 2,5       | 62,5                   | 3 260                               | 260                                 | 32,8                                | 26,0                                |
|           | 3         | 75                     | 3 906                               | 312                                 | 56,2                                | 37,5                                |
|           | 3,5       | 87,5                   | 4 570                               | 364                                 | 84,5                                | 52,0                                |
|           | 4         | 100                    | 5 208                               | 417                                 | 133                                 | 66,7                                |
|           | 4,5       | 115                    | 5 850                               | 470                                 | 190                                 | 85,0                                |
|           | 5         | 125                    | 6 510                               | 521                                 | 260                                 | 104                                 |
|           | 5,5       | 137                    | 7 161                               | 573                                 | 345                                 | 125                                 |
|           | 6         | 150                    | 7 812                               | 625                                 | 450                                 | 150                                 |
|           | 7         | 175                    | 9 115                               | 729                                 | 715                                 | 204                                 |
|           | 8         | 200                    | 10 417                              | 833                                 | 1 067                               | 267                                 |
| 8,5       | 212,5     | 11 067                 | 885                                 | 1 290                               | 300                                 |                                     |
| 9         | 225       | 11 719                 | 937                                 | 1 519                               | 337                                 |                                     |
| 10        | 250       | 13 021                 | 1 041                               | 2 083                               | 417                                 |                                     |
| 11        | 275       | 14 323                 | 1 146                               | 2 773                               | 504                                 |                                     |
| 12        | 300       | 15 625                 | 1 250                               | 3 600                               | 600                                 |                                     |
| 13        | 325       | 16 927                 | 1 354                               | 4 577                               | 704                                 |                                     |
| 14        | 350       | 18 229                 | 1 458                               | 5 717                               | 817                                 |                                     |
| 15        | 375       | 19 531                 | 1 562                               | 7 031                               | 937                                 |                                     |
| 16        | 400       | 20 833                 | 1 667                               | 8 533                               | 1 067                               |                                     |
| 17        | 425       | 22 135                 | 1 771                               | 10 235                              | 1 204                               |                                     |
| 18        | 450       | 23 437                 | 1 875                               | 12 150                              | 1 360                               |                                     |
| 19        | 475       | 24 740                 | 1 979                               | 14 290                              | 1 504                               |                                     |
| 20        | 500       | 26 042                 | 2 083                               | 16 667                              | 1 667                               |                                     |
| 21        | 525       | 27 344                 | 2 187                               | 19 294                              | 1 837                               |                                     |
| 22        | 550       | 28 646                 | 2 292                               | 22 183                              | 2 017                               |                                     |
| 23        | 575       | 29 948                 | 2 396                               | 25 348                              | 2 204                               |                                     |
| 24        | 600       | 31 250                 | 2 500                               | 28 800                              | 2 400                               |                                     |
| 25        | 625       | 32 552                 | 2 604                               | 32 550                              | 2 604                               |                                     |
| 26        | 1         | 26                     | 1 465                               | 113                                 | 2,17                                | 4,33                                |
|           | 2         | 52                     | 2 929                               | 225                                 | 17,3                                | 17,3                                |
|           | 2,5       | 65                     | 3 660                               | 282                                 | 34,0                                | 27,0                                |
|           | 3         | 78                     | 4 394                               | 338                                 | 58,5                                | 39,0                                |
|           | 3,5       | 91                     | 5 150                               | 396                                 | 93,0                                | 53,0                                |
|           | 4         | 104                    | 5 959                               | 451                                 | 139                                 | 69,3                                |
|           | 4,5       | 117                    | 6 600                               | 510                                 | 197                                 | 88,5                                |
|           | 5         | 130                    | 7 323                               | 563                                 | 271                                 | 109                                 |
|           | 5,5       | 143                    | 8 075                               | 619                                 | 360                                 | 130                                 |
|           | 6         | 156                    | 8 788                               | 679                                 | 468                                 | 156                                 |
|           | 7         | 182                    | 10 253                              | 789                                 | 743                                 | 212                                 |
|           | 8         | 203                    | 11 717                              | 901                                 | 1 109                               | 277                                 |

| h<br>в см | b<br>в см | F<br>в см <sup>2</sup> | I <sub>x</sub><br>в см <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>в см <sup>3</sup> | I <sub>y</sub><br>в см <sup>4</sup> | W <sub>y</sub><br>в см <sup>3</sup> |
|-----------|-----------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 26        | 8,5       | 221                    | 12 449                              | 957                                 | 1 330                               | 312                                 |
|           | 9         | 234                    | 13 182                              | 1 014                               | 1 579                               | 351                                 |
|           | 10        | 260                    | 14 647                              | 1 127                               | 2 167                               | 433                                 |
|           | 11        | 268                    | 16 111                              | 1 239                               | 2 864                               | 524                                 |
|           | 12        | 312                    | 17 576                              | 1 352                               | 3 744                               | 634                                 |
|           | 13        | 338                    | 19 041                              | 1 465                               | 4 710                               | 732                                 |
|           | 14        | 364                    | 0 305                               | 1 577                               | 5 845                               | 849                                 |
|           | 15        | 390                    | 21 970                              | 1 690                               | 7 319                               | 975                                 |
|           | 16        | 416                    | 23 435                              | 1 803                               | 8 875                               | 1 109                               |
|           | 17        | 442                    | 24 899                              | 1 915                               | 10 645                              | 1 253                               |
|           | 18        | 468                    | 26 364                              | 2 028                               | 12 639                              | 1 404                               |
|           | 19        | 494                    | 27 829                              | 2 141                               | 14 861                              | 1 564                               |
|           | 20        | 520                    | 29 293                              | 2 253                               | 17 333                              | 1 733                               |
|           | 21        | 546                    | 30 758                              | 2 366                               | 20 066                              | 1 911                               |
| 22        | 572       | 32 223                 | 2 479                               | 23 071                              | 2 077                               |                                     |
| 23        | 598       | 33 687                 | 2 591                               | 26 362                              | 2 292                               |                                     |
| 24        | 624       | 35 152                 | 2 704                               | 29 954                              | 2 709                               |                                     |
| 25        | 650       | 36 617                 | 2 817                               | 33 854                              | 2 708                               |                                     |
| 26        | 676       | 38 081                 | 2 929                               | 38 061                              | 2 929                               |                                     |
| 27        | 1         | 27                     | 1 640                               | 121                                 | 2,25                                | 4,50                                |
|           | 2         | 54                     | 3 280                               | 243                                 | 18,0                                | 18,0                                |
|           | 2,5       | 67,5                   | 4 100                               | 303                                 | 35,4                                | 28,0                                |
|           | 3         | 81                     | 4 921                               | 364                                 | 60,7                                | 40,5                                |
|           | 3,5       | 94,5                   | 5 441                               | 424                                 | 86,5                                | 11                                  |
|           | 4         | 108                    | 6 561                               | 486                                 | 144                                 | 72,0                                |
|           | 4,5       | 121,5                  | 7 381                               | 546                                 | 205                                 | 92,0                                |
|           | 5         | 135                    | 8 201                               | 607                                 | 281                                 | 112                                 |
|           | 5,5       | 148                    | 9 021                               | 668                                 | 374                                 | 135                                 |
|           | 6         | 162                    | 9 841                               | 729                                 | 496                                 | 162                                 |
|           | 7         | 189                    | 11 442                              | 850                                 | 772                                 | 220                                 |
|           | 8         | 216                    | 13 122                              | 972                                 | 1 152                               | 283                                 |
|           | 8,5       | 229                    | 13 942                              | 1 032                               | 1 380                               | 3,4                                 |
|           | 9         | 243                    | 14 762                              | 1 093                               | 1 640                               | 364                                 |
|           | 10        | 270                    | 16 402                              | 1 215                               | 2 250                               | 470                                 |
|           | 11        | 297                    | 18 043                              | 1 336                               | 2 995                               | 544                                 |
|           | 12        | 324                    | 19 683                              | 1 458                               | 3 888                               | 648                                 |
|           | 13        | 351                    | 21 323                              | 1 579                               | 4 943                               | 760                                 |
|           | 14        | 378                    | 22 963                              | 1 701                               | 6 174                               | 882                                 |
|           | 15        | 405                    | 24 604                              | 1 822                               | 7 594                               | 1 012                               |
| 16        | 432       | 26 244                 | 1 944                               | 9 216                               | 1 152                               |                                     |
| 17        | 459       | 27 884                 | 2 065                               | 11 054                              | 1 300                               |                                     |
| 18        | 486       | 29 524                 | 2 187                               | 13 122                              | 1 458                               |                                     |
| 19        | 513       | 31 165                 | 2 308                               | 15 433                              | 1 624                               |                                     |
| 20        | 540       | 32 805                 | 2 430                               | 18 000                              | 1 800                               |                                     |
| 21        | 567       | 34 445                 | 2 551                               | 20 837                              | 1 984                               |                                     |
| 22        | 594       | 36 085                 | 2 673                               | 23 958                              | 2 178                               |                                     |
| 23        | 621       | 37 746                 | 2 794                               | 27 376                              | 2 380                               |                                     |
| 24        | 648       | 39 396                 | 2 916                               | 31 004                              | 2 592                               |                                     |
| 25        | 675       | 41 026                 | 3 037                               | 35 156                              | 2 812                               |                                     |
| 26        | 702       | 42 666                 | 3 159                               | 39 846                              | 3 042                               |                                     |
| 27        | 729       | 44 287                 | 3 280                               | 44 287                              | 3 280                               |                                     |
| 28        | 1         | 28                     | 1 829                               | 131                                 | 2,33                                | 4,67                                |
|           | 2         | 56                     | 3 659                               | 261                                 | 18,7                                | 18,7                                |
|           | 2,5       | 70                     | 4 573                               | 326                                 | 36,8                                | 28,2                                |
|           | 3         | 84                     | 5 488                               | 392                                 | 63                                  | 42                                  |
|           | 3,5       | 98                     | 6 402                               | 457                                 | 100                                 | 56,0                                |
|           | 4         | 112                    | 7 317                               | 523                                 | 149                                 | 74,7                                |
|           | 4,5       | 126                    | 8 231                               | 588                                 | 212                                 | 95,5                                |
|           | 5         | 140                    | 9 147                               | 653                                 | 292                                 | 117                                 |
|           | 5,5       | 154                    | 10 061                              | 718                                 | 388                                 | 140                                 |
|           | 6         | 168                    | 10 976                              | 784                                 | 504                                 | 168                                 |
|           | 7         | 186                    | 12 805                              | 915                                 | 640                                 | 229                                 |
|           | 8         | 224                    | 14 635                              | 1 045                               | 1 195                               | 299                                 |
|           | 8,5       | 138                    | 15 549                              | 1 110                               | 1 460                               | 336                                 |
|           | 9         | 252                    | 16 464                              | 1 176                               | 1 701                               | 378                                 |
|           | 10        | 280                    | 18 293                              | 1 307                               | 2 333                               | 467                                 |
|           | 11        | 308                    | 20 123                              | 1 437                               | 3 106                               | 565                                 |
|           | 12        | 336                    | 21 952                              | 1 568                               | 4 032                               | 672                                 |
|           | 13        | 364                    | 23 781                              | 1 699                               | 5 126                               | 789                                 |
|           | 14        | 392                    | 25 611                              | 1 829                               | 6 403                               | 915                                 |
|           | 15        | 420                    | 27 440                              | 1 960                               | 7 85                                | 1 050                               |
| 16        | 448       | 29 269                 | 2 091                               | 9 557                               | 1 185                               |                                     |
| 17        | 476       | 31 099                 | 2 221                               | 11 464                              | 1 349                               |                                     |
| 18        | 504       | 32 928                 | 2 352                               | 13 603                              | 1 512                               |                                     |
| 19        | 532       | 34 757                 | 2 483                               | 16 004                              | 1 685                               |                                     |
| 20        | 560       | 36 587                 | 2 613                               | 18 667                              | 1 867                               |                                     |

| h<br>в см | b<br>в см | F<br>в см <sup>2</sup> | I <sub>x</sub><br>в см <sup>4</sup> | W <sub>x</sub><br>в см <sup>3</sup> | I <sub>y</sub><br>в см <sup>4</sup> | W <sub>y</sub><br>в см <sup>3</sup> |
|-----------|-----------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 28        | 21        | 589                    | 38 416                              | 2 744                               | 21 609                              | 2 058                               |
|           | 22        | 616                    | 40 245                              | 2 875                               | 24 845                              | 2 259                               |
|           | 23        | 644                    | 42 075                              | 3 005                               | 28 390                              | 2 469                               |
|           | 24        | 672                    | 43 904                              | 3 136                               | 32 256                              | 2 688                               |
|           | 25        | 700                    | 45 733                              | 3 267                               | 36 458                              | 2 917                               |
|           | 26        | 728                    | 47 563                              | 3 397                               | 41 011                              | 3 155                               |
|           | 27        | 756                    | 49 392                              | 3 528                               | 45 927                              | 3 402                               |
|           | 28        | 784                    | 51 221                              | 3 659                               | 51 221                              | 3 659                               |
| 29        | 1         | 29                     | 2 032                               | 140                                 | 2,42                                | 4,8                                 |
|           | 2         | 58                     | 4 065                               | 280                                 | 19,3                                | 19,3                                |
|           | 2,5       | 72,5                   | 5 081                               | 350                                 | 38                                  | 30,2                                |
|           | 3         | 87                     | 6 097                               | 420                                 | 65,2                                | 43,5                                |
|           | 3,5       | 101,5                  | 7 113                               | 490                                 | 108                                 | 59                                  |
|           | 4         | 116                    | 8 130                               | 561                                 | 155                                 | 77,3                                |
|           | 4,5       | 130,5                  | 9 146                               | 630                                 | 220                                 | 98,5                                |
|           | 5         | 145                    | 10 162                              | 701                                 | 302                                 | 121                                 |
|           | 5,5       | 159                    | 11 178                              | 771                                 | 400                                 | 145                                 |
|           | 6         | 174                    | 12 194                              | 841                                 | 521                                 | 176                                 |
|           | 7         | 203                    | 14 227                              | 981                                 | 689                                 | 237                                 |
|           | 8         | 232                    | 16 259                              | 1 121                               | 929                                 | 309                                 |
|           | 8,5       | 246,5                  | 17 275                              | 1 191                               | 1 287                               | 349                                 |
|           | 9         | 261                    | 18 292                              | 1 261                               | 1 450                               | 391                                 |
|           | 10        | 280                    | 20 324                              | 1 402                               | 2 417                               | 493                                 |
|           | 11        | 319                    | 22 357                              | 1 542                               | 3 217                               | 585                                 |
|           | 12        | 348                    | 24 389                              | 1 682                               | 4 176                               | 696                                 |
|           | 13        | 377                    | 26 421                              | 1 822                               | 5 309                               | 817                                 |
|           | 14        | 406                    | 28 454                              | 1 962                               | 6 631                               | 947                                 |
|           | 15        | 435                    | 30 486                              | 2 102                               | 8 156                               | 1 087                               |
| 16        | 464       | 32 519                 | 2 243                               | 9 999                               | 1 237                               |                                     |
| 17        | 493       | 34 551                 | 2 383                               | 11 873                              | 1 397                               |                                     |
| 18        | 522       | 36 583                 | 2 523                               | 14 044                              | 1 566                               |                                     |
| 19        | 551       | 38 616                 | 2 663                               | 16 576                              | 1 765                               |                                     |
| 20        | 580       | 40 648                 | 2 803                               | 19 333                              | 2 033                               |                                     |
| 21        | 609       | 42 681                 | 2 943                               | 22 381                              | 2 311                               |                                     |
| 22        | 638       | 44 713                 | 3 084                               | 25 733                              | 2 639                               |                                     |
| 23        | 667       | 46 746                 | 3 224                               | 29 404                              | 2 957                               |                                     |
| 24        | 696       | 48 778                 | 3 364                               | 33 408                              | 3 284                               |                                     |
| 25        | 725       | 50 810                 | 3 504                               | 37 760                              | 3 621                               |                                     |
| 26        | 754       | 52 843                 | 3 644                               | 42 476                              | 3 967                               |                                     |
| 27        | 783       | 54 875                 | 3 784                               | 47 567                              | 4 323                               |                                     |
| 28        | 812       | 56 908                 | 3 925                               | 53 011                              | 4 789                               |                                     |
| 29        | 841       | 58 940                 | 4 065                               | 58 940                              | 4 765                               |                                     |
| 30        | 1         | 30                     | 2 250                               | 150                                 | 2,5                                 | 5                                   |
|           | 2         | 60                     | 4 500                               | 300                                 | 20                                  | 20                                  |
|           | 2,5       | 75                     | 5 650                               | 375                                 | 39,4                                | 31,2                                |
|           | 3         | 90                     | 6 750                               | 450                                 | 67,5                                | 45,0                                |
|           | 3,5       | 105                    | 7 700                               | 525                                 | 107                                 | 61                                  |
|           | 4         | 120                    | 9 000                               | 600                                 | 160                                 | 80                                  |
|           | 4,5       | 135                    | 10 150                              | 675                                 | 228                                 | 102                                 |
|           | 5         | 150                    | 11 500                              | 750                                 | 312                                 | 125                                 |
|           | 5,5       | 165                    | 12 875                              | 825                                 | 415                                 | 150                                 |
|           | 6         | 180                    | 13 500                              | 900                                 | 540                                 | 180                                 |
|           | 7         | 210                    | 15 750                              | 1 050                               | 857                                 | 245                                 |
|           | 8         | 240                    | 18 000                              | 1 200                               | 1 280                               | 320                                 |
|           | 8,5       | 255                    | 19 125                              | 1 275                               | 1 530                               | 360                                 |
|           | 9         | 270                    | 20 250                              | 1 350                               | 1 821                               | 405                                 |
|           | 10        | 300                    | 22 500                              | 1 500                               | 2 500                               | 500                                 |
|           | 11        | 330                    | 24 750                              | 1 650                               | 3 327                               | 605                                 |
|           | 12        | 360                    | 27 000                              | 1 800                               | 4 320                               | 720                                 |
|           | 13        | 390                    | 29 250                              | 1 950                               | 5 492                               | 845                                 |
|           | 14        | 420                    | 31 500                              | 2 100                               | 6 880                               | 980                                 |
|           | 15        | 450                    | 33 750                              | 2 250                               | 8 437                               | 1 125                               |
| 16        | 480       | 36 000                 | 2 400                               | 10 240                              | 1 280                               |                                     |
| 17        | 510       | 38 250                 | 2 550                               | 12 283                              | 1 445                               |                                     |
| 18        | 540       | 40 500                 | 2 700                               | 14 580                              | 1 620                               |                                     |
| 19        | 570       | 42 750                 | 2 850                               | 17 148                              | 1 805                               |                                     |
| 20        | 600       | 45 000                 | 3 000                               | 20 000                              | 2 000                               |                                     |
| 21        | 630       | 47 250                 | 3 150                               | 23 153                              | 2 205                               |                                     |
| 22        | 660       | 49 500                 | 3 300                               | 26 620                              | 2 420                               |                                     |
| 23        | 690       | 51 750                 | 3 450                               | 30 418                              | 2 645                               |                                     |
| 24        | 720       | 54 000                 | 3 600                               | 34 560                              | 2 880                               |                                     |
| 25        | 750       | 56 250                 | 3 750                               | 39 063                              | 3 125                               |                                     |
| 26        | 780       | 58 500                 | 3 900                               | 43 940                              | 3 380                               |                                     |
| 27        | 810       | 60 750                 | 4 050                               | 49 208                              | 3 645                               |                                     |
| 28        | 840       | 63 000                 | 4 200                               | 54 973                              | 3 920                               |                                     |
| 29        | 870       | 65 250                 | 4 350                               | 61 230                              | 4 205                               |                                     |
| 30        | 900       | 67 500                 | 4 500                               | 67 500                              | 4 500                               |                                     |

для бревна  $d = 24$  см имеем:

$$I = 15\,593 \text{ см}^4$$

(табл. 10); сечение выбрано правильно.

Таблица 16

Балки прямоугольного сечения. Наименьшие значения

$$i = \frac{l_0}{h} \text{ для расчета по жесткости}$$

| $\frac{f}{l}$   | Допускаемые напряжения в кг/см <sup>2</sup> |      |      |      |      |
|-----------------|---|------|------|------|------|
|                 | 110   | 100  | 90   | 80   | 70   |
| $\frac{1}{200}$ | 20,8  | 22,8 | 25,4 | 28,5 | 32,6 |
| $\frac{1}{250}$ | 16,7  | 18,3 | 20,4 | 22,8 | 26,2 |
| $\frac{1}{300}$ | 13,8  | 15,2 | 16,9 | 19,0 | 21,6 |
| $\frac{1}{350}$ | 11,8  | 13,0 | 14,5 | 16,2 | 18,6 |
| $\frac{1}{400}$ | 10,4  | 11,4 | 12,7 | 14,3 | 16,3 |

**Пример 4.** Требуется рассчитать перекрытие из бревен  $d = 22$  см, окантованных на четыре ската под нагрузку  $q = g + p = 120 + 75 = 195 \text{ кг/м}^2$ ; пролет в свету  $l_0 = 6,50 \text{ м}$ ;  $[n_u] = 100 \text{ кг/см}^2$ ;  $f = \frac{1}{200} l$ .

**Решение.** По табл. 7 при заданных  $[n_u]$  и  $\frac{f}{l}$  находим:  $i = 19,7$ ;

в данном примере  $\frac{l_0}{d} = \frac{6,50}{0,22} = 29,6 > i$ ,

ледовательно расчет производим по жесткости. По табл. 10 для  $d = 22 \text{ см}$   $I = 8\,902 \text{ см}^4$ . По формуле:

$$I = 0,30 \text{ } q c l_0^3$$

находим:

$$c = \frac{I}{0,30 l_0^3} = \frac{8\,902}{0,3 \cdot 195 \cdot 6,5^3} = 0,57 \text{ м.}$$

Балки следует ставить не реже, чем через 77 см.

#### 4. Расчет балок из брусьев и досок

##### 1) Вспомогательные таблицы

В табл. 15 даны в зависимости от допускаемого напряжения наименьшие значения отношения  $i = \frac{l_0}{h}$  пролета в свету  $l_0$  к высоте бруса

при которых расчет ведется по жесткости. Необходимый момент инерции  $I$  сечения бруса определяется по формулам, данным в табл. 4.

В той же табл. 4 приведены формулы для определения необходимого момента сопротивления  $W$  сечения для случаев, когда  $\frac{l_0}{h} < i$ .

Подбор сечения балок производится по табл. 4, где даны площади, моменты инерции и моменты сопротивлений сечений прямоугольных брусьев и досок применительно к ОСТ 7099.

Для определения размеров балок междуэтажных и чердачных перекрытий по заданным пролету, нагрузке (без собственного веса балок), напряжению и прогибу ниже помещены универсальные табл. 16—25.

Для экономического сравнения выбранных сечений балок дана табл. 26.

Таблицы составлены для однопролетных свободно опертых балок с допускаемым напряжением  $[n_u] = 100 \text{ кг/см}^2$ ,  $E = 10^5 \text{ кг/см}^2$  при расчетной нагрузке от 50 до 650 кг/м балки.

Для других допускаемых напряжений и модуля упругости пользованию таблицами должно предшествовать приведение действительной нагрузки к эквивалентной, умноженной на соответствующие коэффициенты приведения.

Допускаемые полезные расчетные нагрузки определены для двух случаев:

1) при расчете по напряжению:

$$q_1 = \frac{8 [n_u] W}{l^2};$$

2) при расчете по прогибу:

$$q_2 = \frac{384 \cdot EI}{5 l^3} \cdot \frac{f}{l}.$$

Значения  $q_1$  указаны в левой вертикальной графе пролетов, значения  $q_2$  — в правой графе (табл. 18—25). В тех случаях, когда проверка по прогибу излишни, в таблицах приведены только значения  $q_1$ .

Таблицы составлены для относительных прогибов

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{250}, \frac{1}{300}, \frac{1}{350} \text{ и } \frac{1}{400}$$

и охватывают 54 различных поперечных сечения балок. В тех случаях, когда это является экономически целесообразным (табл. 26), указанные в таблицах поперечные сечения следует делать составными по ширине из двух досок той же высоты, скрепленных между собой гвоздями.

Табл. 16 и 17 дают значение погонной нагрузки на балки в зависимости от расстояния между ними и от нагрузки на 1 м<sup>2</sup> перекрытия. Если  $[n_u] \neq 100 \text{ кг/см}^2$  и  $E \neq 100\,000 \text{ кг/см}^2$ , для пользования табл. 18—25 следует предварительно определить два коэффициента приведения нагрузки: 1) по напряжению  $k_n = \frac{100}{[n_u]}$  для расчета

по прочности и 2) по модулю  $k_f = \frac{100\,000}{E}$  для расчета на прогиб. Расчетная нагрузка  $q$  в кг/м<sup>2</sup> и расстояние между балками  $s$  умножаются на эти коэффициенты, после чего подбор сечения производится по найденным приведенным погонным нагрузкам обычным порядком. Для  $[n_u] = 110 \text{ кг/см}^2$  и  $E = 110\,000 \text{ кг/см}^2$  приведенные погонные нагрузки могут быть взяты из табл. 17.

Для расчета по табл. 18—25 неразрезных балок необходимо предварительно определять эквивалентные нагрузки по моменту  $M$  на второй опоре и по прогибу  $f_{\max}$  в крайнем пролете для приведения неразрезных балок к однопролетным. Эквивалентные нагрузки для неразрезных равнопролетных балок могут быть определены с помощью графиков 2 и 3.

**Пример 5.** Требуется подобрать сечения однопролетных балок пролетом  $l = 5,0 \text{ м}$  при расстоянии между ними  $s = 0,40 \text{ м}$ . Дано: вес 1 м<sup>2</sup> перекрытия без веса балок  $g = 170 \text{ кг/м}^2$ ; временная нагрузка  $p = 250 \text{ кг/м}^2$ ; допускаемое напряжение  $[n_u] = 100 \text{ кг/см}^2$ ; пиломатериал полусухой ( $E = 100\,000 \text{ кг/см}^2$ ); относительный прогиб  $\frac{f}{l} = \frac{1}{250}$ .

Расчетная нагрузка  $q = g + p = 420 \text{ кг/м}^2$

1 Составлены в ОТИС Промстройпроекта инж. В. А. Жамарасым.



По табл. 46 для  $[n_u] = 100 \text{ кг/см}^2$ ,  $q = 420 \text{ кг/м}^2$  и  $E = 100\,000 \text{ кг/см}^2$  при  $c = 0,40 \text{ м}$  находим  $q = 168 \text{ кг/пог. м}$ .

Согласно ТУ и Н при подборе размеров сечений частей конструкций допускается превышение напряжений не более чем на 5%.

По табл. 49 для  $\frac{f}{l} = \frac{1}{250}$  отыскиваем (идя сверху вниз) в вертикальной графе пролета  $l = 5,00 \text{ м}$  несколько строк, в которых обе нагрузки не меньше  $168 \cdot 0,95 = 160 \text{ кг/пог. м}$  (что соответствует допускаемому перенапряжению на 5%). Выписываем сечения  $6 \times 24 \text{ см}$ ,  $8 \times 22 \text{ см}$ ,  $12 \times 20 \text{ см}$ . Из найденных таким образом сечений балок выбирается наиболее удовлетворяющее конструктивным и экономическим требованиям.

**Пример 6.** Требуется подобрать сечения однопролетных балок пролетом  $l = 4,50 \text{ м}$  при  $c = 0,60 \text{ м}$ . Дано:

$$q = 220 \text{ кг/м}^2, \quad p = 250 \text{ кг/м}^2,$$

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{250}, \quad [n_u] = 80 \text{ кг/см},$$

$$E = 110\,000 \text{ кг/см}^2 \text{ и } c = 0,60 \text{ м};$$

$$q = q + p = 220 + 250 = 470 \text{ кг/м}^2.$$

Приведенная погонная нагрузка:  
по напряжению:

$$q_m = \frac{470 \cdot 100}{80} \cdot 0,6 = 350 \text{ кг/пог. м};$$

по прогибу:

$$q_f = \frac{470 \cdot 100\,000}{110\,000} \cdot 0,6 = 256 \text{ кг/пог. м}.$$

По табл. 49 для  $\frac{f}{l} = \frac{1}{250}$  отыскиваем в графе пролета  $l = 4,50 \text{ м}$  несколько строк, в которых левая цифра не меньше  $352 \cdot 0,95 = 334 \text{ кг/м}$ , а правая — не меньше  $256 \cdot 0,95 = 243 \text{ кг/м}$ .

Сечениями, удовлетворяющими найденному условию, являются  $8 \times 26 \text{ см}$ ;  $9 \times 25 \text{ см}$ ;  $10 \times 24 \text{ см}$ ;  $12 \times 22 \text{ см}$ .

Наиболее экономичным из этих сечений согласно табл. 26 является сечение  $8 \times 26 \text{ см}$ .

**Пример 7.** Требуется подобрать сечение пятипролетной неразрезной балки по данным примера 1.

$$\text{Имеем } q = 258 \text{ кг/м} \text{ и } q_f = 188 \text{ кг/м}^2.$$

Далее подбор сечения производится так же, как и для простой балки:

$$0,95q_m = 245 \text{ кг/м};$$

$$0,95q_f = 179 \text{ кг/м}.$$

Сечениями, удовлетворяющими условиям, являются  $9 \times 26 \text{ см}$ ;  $10 \times 25 \text{ см}$ ;  $13 \times 22 \text{ см}$ .

По условиям неразрезности балка конструктивно должна составляться из двух досок. Наиболее экономичным из найденных сечений согласно табл. 26 будет сечение из двух досок  $4,5 \times 26 \text{ см}$ .

Таблица 16

Погонные нагрузки на балки в кг/м в зависимости от расстояния между ними и нагрузки на 1 м<sup>2</sup> перекрытия при  $[n_u] = 100 \text{ кг/см}^2$  и  $E = 10^5 \text{ кг/см}^2$

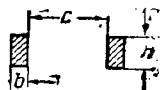
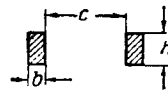


Таблица 17

Приведенные погонные нагрузки на балки в кг/м для  $[n_u] = 110 \text{ кг/см}^2$  и  $E = 110\,000 \text{ кг/см}^2$



| q в кг/м <sup>2</sup> | c в см |      |      |      |      |      |
|-----------------------|--------|------|------|------|------|------|
|                       | 0,40   | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 |
| 150                   | 60     | 76   | 90   | 105  | 120  | 135  |
| 160                   | 67     | 80   | 96   | 112  | 128  | 144  |
| 170                   | 68     | 85   | 102  | 119  | 136  | 153  |
| 180                   | 72     | 90   | 108  | 126  | 144  | 162  |
| 190                   | 76     | 95   | 114  | 133  | 152  | 171  |
| 200                   | 80     | 100  | 120  | 140  | 160  | 180  |
| 210                   | 84     | 105  | 126  | 147  | 168  | 189  |
| 220                   | 88     | 110  | 132  | 154  | 176  | 198  |
| 230                   | 92     | 115  | 138  | 161  | 184  | 207  |
| 240                   | 96     | 120  | 144  | 168  | 192  | 216  |
| 250                   | 100    | 125  | 150  | 175  | 200  | 225  |
| 260                   | 104    | 130  | 156  | 182  | 208  | 234  |
| 270                   | 108    | 135  | 162  | 189  | 216  | 243  |
| 280                   | 112    | 140  | 168  | 196  | 224  | 252  |
| 290                   | 116    | 145  | 174  | 203  | 232  | 261  |
| 300                   | 120    | 150  | 180  | 210  | 240  | 270  |
| 310                   | 124    | 155  | 186  | 217  | 248  | 279  |
| 320                   | 128    | 160  | 192  | 224  | 256  | 288  |
| 330                   | 132    | 165  | 198  | 231  | 264  | 297  |
| 340                   | 136    | 170  | 204  | 238  | 272  | 306  |
| 350                   | 140    | 175  | 210  | 245  | 280  | 315  |
| 360                   | 144    | 180  | 216  | 252  | 288  | 324  |
| 370                   | 148    | 185  | 222  | 259  | 296  | 333  |
| 380                   | 152    | 190  | 228  | 266  | 304  | 342  |
| 390                   | 156    | 195  | 234  | 273  | 312  | 351  |
| 400                   | 160    | 200  | 240  | 280  | 320  | 360  |
| 420                   | 168    | 210  | 252  | 294  | 336  | 378  |
| 440                   | 176    | 220  | 264  | 308  | 352  | 396  |
| 460                   | 184    | 230  | 276  | 322  | 368  | 414  |
| 480                   | 192    | 240  | 288  | 336  | 384  | 432  |
| 500                   | 200    | 250  | 300  | 350  | 400  | 450  |
| 525                   | 210    | 262  | 315  | 367  | 420  | 472  |
| 550                   | 220    | 275  | 330  | 385  | 440  | 495  |
| 575                   | 230    | 287  | 345  | 402  | 460  | 517  |
| 600                   | 240    | 300  | 360  | 420  | 480  | 540  |
| 625                   | 250    | 312  | 375  | 437  | 500  | 562  |
| 650                   | 260    | 325  | 390  | 455  | 520  | 585  |

| q в кг/м <sup>2</sup> | c в см |      |      |      |      |      |
|-----------------------|--------|------|------|------|------|------|
|                       | 0,40   | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 |
| 150                   | 55     | 67   | 82   | 96   | 109  | 123  |
| 160                   | 58     | 73   | 87   | 102  | 116  | 131  |
| 170                   | 62     | 77   | 92   | 108  | 124  | 139  |
| 180                   | 65     | 82   | 98   | 115  | 131  | 147  |
| 190                   | 69     | 86   | 104  | 121  | 139  | 156  |
| 200                   | 73     | 91   | 109  | 127  | 145  | 164  |
| 210                   | 77     | 96   | 114  | 134  | 153  | 172  |
| 220                   | 80     | 100  | 120  | 140  | 160  | 180  |
| 230                   | 84     | 105  | 125  | 146  | 167  | 188  |
| 240                   | 87     | 109  | 131  | 153  | 175  | 196  |
| 250                   | 91     | 114  | 136  | 159  | 182  | 205  |
| 260                   | 95     | 118  | 142  | 165  | 189  | 213  |
| 270                   | 98     | 123  | 147  | 172  | 196  | 221  |
| 280                   | 102    | 127  | 153  | 178  | 204  | 229  |
| 290                   | 105    | 132  | 158  | 185  | 211  | 237  |
| 300                   | 109    | 136  | 164  | 191  | 218  | 245  |
| 310                   | 113    | 141  | 169  | 197  | 225  | 253  |
| 320                   | 116    | 146  | 174  | 204  | 233  | 262  |
| 330                   | 120    | 150  | 180  | 210  | 240  | 270  |
| 340                   | 124    | 154  | 185  | 216  | 248  | 278  |
| 350                   | 127    | 159  | 191  | 223  | 254  | 286  |
| 360                   | 131    | 164  | 196  | 229  | 262  | 294  |
| 370                   | 135    | 168  | 202  | 237  | 269  | 303  |
| 380                   | 138    | 173  | 207  | 242  | 276  | 313  |
| 390                   | 142    | 177  | 213  | 248  | 284  | 319  |
| 400                   | 145    | 182  | 218  | 254  | 291  | 327  |
| 420                   | 153    | 191  | 229  | 267  | 306  | 344  |
| 440                   | 160    | 200  | 240  | 280  | 320  | 360  |
| 460                   | 167    | 209  | 251  | 293  | 334  | 376  |
| 480                   | 174    | 218  | 262  | 305  | 349  | 391  |
| 500                   | 182    | 227  | 273  | 318  | 364  | 409  |
| 525                   | 191    | 233  | 286  | 334  | 382  | 430  |
| 550                   | 200    | 250  | 300  | 350  | 400  | 450  |
| 575                   | 209    | 261  | 314  | 366  | 418  | 470  |
| 600                   | 218    | 273  | 327  | 382  | 436  | 490  |
| 625                   | 227    | 284  | 341  | 391  | 455  | 511  |
| 650                   | 236    | 296  | 354  | 414  | 472  | 531  |

Дополнительные сведения нагрузки (без собственного веса балок) [г/м] = 100 кг/см<sup>2</sup>, E = 10<sup>10</sup> кг/см<sup>2</sup> в  $\frac{l}{a} = \frac{1}{250}$

Таблица 10

| l, м   | 1, м | 2,50 | 2,80 | 3,00 | 3,20 | 3,40 | 3,50 | 3,80 | 3,90 | 4,00 | 4,20 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3,5×16 | 188  | 174  | 150  | 130  | 114  | 99   | 94   | 88   | 79   | 71   | 64   |
| 4×15   | 215  | 198  | 171  | 148  | 124  | 105  | 94   | 88   | 79   | 71   | 64   |
| 3,5×18 | 239  | 221  | 190  | 165  | 145  | 128  | 120  | 102  | 91   | 82   | 74   |
| 4×18   | 272  | 252  | 218  | 185  | 165  | 145  | 135  | 114  | 102  | 92   | 83   |
| 4,5×18 | 307  | 284  | 244  | 212  | 185  | 165  | 153  | 124  | 116  | 104  | 94   |
| 3×15   | 841  | 814  | 721  | 635  | 550  | 482  | 421  | 361  | 311  | 271  | 231  |
| 4,5×20 | 379  | 350  | 301  | 262  | 230  | 203  | 191  | 162  | 145  | 131  | 117  |
| 6×14   | 409  | 377  | 335  | 292  | 247  | 218  | 206  | 194  | 174  | 155  | 139  |
| 6×20   | 409  | 377  | 335  | 292  | 247  | 218  | 206  | 194  | 174  | 155  | 139  |
| 5×22   | 505  | 468  | 401  | 349  | 306  | 270  | 254  | 240  | 215  | 193  | 174  |
| 6×20   | 505  | 468  | 401  | 349  | 306  | 270  | 254  | 240  | 215  | 193  | 174  |
| 7×20   | 599  | 544  | 455  | 407  | 357  | 323  | 297  | 280  | 251  | 226  | 204  |
| 5×24   | 607  | 561  | 483  | 420  | 368  | 335  | 306  | 289  | 259  | 233  | 211  |
| 6×22   | 613  | 567  | 487  | 423  | 371  | 338  | 309  | 292  | 261  | 235  | 213  |
| 8×20   | 613  | 567  | 487  | 423  | 371  | 338  | 309  | 292  | 261  | 235  | 213  |
| 7×22   | 673  | 621  | 535  | 463  | 407  | 360  | 329  | 312  | 281  | 254  | 232  |
| 8×20   | 673  | 621  | 535  | 463  | 407  | 360  | 329  | 312  | 281  | 254  | 232  |
| 9×20   | 702  | 652  | 560  | 484  | 424  | 381  | 342  | 324  | 293  | 267  | 247  |
| 1×20   | 702  | 652  | 560  | 484  | 424  | 381  | 342  | 324  | 293  | 267  | 247  |
| 1×20   | 702  | 652  | 560  | 484  | 424  | 381  | 342  | 324  | 293  | 267  | 247  |
| 6×25   | 755  | 702  | 608  | 529  | 452  | 405  | 368  | 348  | 312  | 280  | 254  |
| 8×25   | 755  | 702  | 608  | 529  | 452  | 405  | 368  | 348  | 312  | 280  | 254  |
| 10×20  | 649  | 608  | 530  | 457  | 400  | 378  | 348  | 301  | 280  | 254  | 232  |
| 7×24   | 689  | 649  | 581  | 510  | 450  | 411  | 382  | 348  | 319  | 289  | 275  |
| 6×26   | 681  | 649  | 587  | 516  | 456  | 410  | 382  | 348  | 319  | 289  | 275  |
| 9×22   | 681  | 649  | 587  | 516  | 456  | 410  | 382  | 348  | 319  | 289  | 275  |
| 8×24   | 731  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 7×25   | 731  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 8×24   | 731  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 7×26   | 731  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 10×22  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 9×24   | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 9×24   | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 13×20  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 9×24   | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 13×20  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 8×26   | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 9×26   | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 10×26  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 13×22  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 13×22  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 11×26  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 14×22  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 12×24  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 13×24  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 12×24  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 14×24  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 12×26  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 13×25  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 14×25  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 13×26  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 15×24  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 14×26  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 15×25  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 15×25  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 16×26  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |
| 16×26  | 730  | 681  | 634  | 566  | 491  | 432  | 406  | 378  | 350  | 323  | 304  |

В левом вертикальном графе пролета даны нагрузки по направлению, вправо — по пролету

Допускаемые погонные нагрузки (без собственного веса балок) [т/м]

| $b \times h$ \ I в.г | 4,40 | 4,50 | 4,60 | 4,80 | 5,00 | 5,20 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| 3,5x16               |      |      |      |      |      |      |
| 4x16                 |      |      |      |      |      |      |
| 3,5x19               | 75   | 58   | 72   | 54   | 69   | 51   |
| 4x18                 | 85   | 66   | 81   | 62   | 78   | 58   |
| 4,5x18               | 97   | 75   | 92   | 70   | 88   | 65   |
| 5x18                 | 107  | 82   | 102  | 77   | 97   | 72   |
| 4,5x20               | 119  | 1-3  | 114  | 96   | 109  | 90   |
| 6x18                 | 128  | 99   | 122  | 93   | 117  | 86   |
| 6x20                 | 132  | 114  | 129  | 107  | 120  | 99   |
| 8x20                 | 158  | 137  | 151  | 124  | 144  | 121  |
| 5x22                 | 161  | 153  | 153  | 144  | 148  | 134  |
| 7x20                 | 185  | 160  | 177  | 160  | 169  | 140  |
| 5x24                 | 197  |      | 188  | 175  | 180  | 160  |
| 6x22                 | 193  | 184  | 184  | 173  | 176  | 161  |
| 8x20                 | 211  | 183  | 202  | 171  | 193  | 169  |
| 7x22                 | 226  | 215  | 215  | 202  | 206  | 189  |
| 6x24                 | 231  |      | 220  | 210  | 192  | 183  |
| 9x20                 | 238  | 206  | 227  | 193  | 217  | 189  |
| 6x25                 | 251  |      | 249  | 219  | 209  | 209  |
| 8x22                 | 257  | 245  | 245  | 230  | 234  | 215  |
| 10x20                | 265  | 229  | 253  | 213  | 241  | 200  |
| 7x24                 | 289  |      | 257  | 245  | 224  | 214  |
| 6x26                 | 271  |      | 258  | 247  | 226  | 207  |
| 9x22                 | 289  | 276  | 275  | 259  | 241  | 210  |
| 7x25                 | 292  |      | 278  | 260  | 243  | 208  |
| 8x24                 | 308  |      | 294  | 281  | 257  | 245  |
| 7x26                 | 311  |      | 302  | 289  | 264  | 243  |
| 12x20                | 318  | 275  | 303  | 257  | 280  | 240  |
| 10x22                | 322  | 307  | 307  | 288  | 283  | 289  |
| 8x25                 | 335  |      | 319  | 306  | 279  | 279  |
| 9x24                 | 346  |      | 330  | 316  | 289  | 275  |
| 13x20                | 345  | 298  | 329  | 279  | 287  | 226  |
| 8x26                 | 367  |      | 345  | 331  | 302  | 277  |
| 9x25                 | 376  |      | 359  | 342  | 313  | 288  |
| 10x24                | 384  |      | 366  | 350  | 320  | 305  |
| 12x22                | 386  | 389  | 369  | 346  | 321  | 281  |
| 9x26                 | 407  |      | 387  | 371  | 339  | 311  |
| 10x25                | 417  |      | 397  | 390  | 347  | 319  |
| 13x22                | 418  | 393  | 399  | 374  | 349  | 308  |
| 10x26                | 452  |      | 431  | 412  | 377  | 346  |
| 14x22                | 450  | 429  | 430  | 403  | 411  | 326  |
| 12x24                | 461  |      | 439  | 420  | 394  | 366  |
| 13x24                | 499  |      | 476  | 455  | 416  | 397  |
| 12x25                | 501  |      | 478  | 457  | 418  | 384  |
| 1x22                 | 515  | 491  | 491  | 461  | 429  | 314  |
| 14x24                | 538  |      | 513  | 492  | 449  | 428  |
| 12x26                | 544  |      | 518  | 495  | 453  | 416  |
| 13x25                | 543  |      | 511  | 496  | 452  | 415  |
| 14x25                | 583  |      | 556  | 532  | 480  | 418  |
| 13x26                | 587  |      | 560  | 536  | 490  | 450  |
| 16x24                | 614  |      | 585  | 560  | 512  | 459  |
| 14x26                | 631  |      | 603  | 578  | 527  | 485  |
| 16x25                | 668  |      | 637  | 609  | 557  | 511  |
| 16x26                |      |      |      | 659  | 603  | 544  |

$$-100 \text{ кг/см}^2, E = 10^6 \text{ кг/см}^2 \text{ и } \frac{f}{l} = \frac{1}{250}$$

| 5,40 |     | 5,50 |     | 5,60 |     | 5,80 |     | 6,00 |     |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 77   | 54  | 74   | 50  |      |     |      |     |      |     |
| 83   | 51  |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 85   | 50  | 82   | 55  | 70   | 52  |      |     |      |     |
| 103  | 71  | 99   | 67  | 95   | 63  | 88   | 56  | 82   | 50  |
| 105  | 81  | 101  | 70  | 97   | 72  | 90   | 61  | 84   | 57  |
| 120  | 83  | 116  | 78  | 111  | 74  | 103  | 65  | 86   | 54  |
| 125  | 105 | 120  | 99  | 115  | 84  | 107  | 81  | 100  | 75  |
| 126  | 97  | 121  | 91  | 117  | 86  | 108  | 77  | 101  | 69  |
| 137  | 95  | 132  | 89  | 127  | 84  | 118  | 75  | 109  | 67  |
| 147  | 113 | 142  | 106 | 136  | 101 | 126  | 90  | 118  | 80  |
| 150  | 127 | 145  | 119 | 139  | 113 | 129  | 101 | 120  | 90  |
| 155  | 107 | 149  | 101 | 143  | 95  | 133  | 84  | 123  | 75  |
| 184  | 144 | 158  | 136 | 152  | 129 | 141  | 115 | 131  | 103 |
| 167  | 123 | 161  | 121 | 155  | 114 | 143  | 103 | 133  | 91  |
| 172  | 119 | 165  | 112 | 159  | 106 | 147  | 94  | 137  | 84  |
| 175  | 148 | 169  | 141 | 162  | 132 | 151  | 118 | 140  | 106 |
| 176  | 162 | 170  | 153 | 164  | 145 | 153  | 129 | 141  | 116 |
| 184  | 145 | 181  | 136 | 174  | 129 | 161  | 115 | 150  | 102 |
| 190  | 163 | 183  | 158 | 176  | 150 | 163  | 133 | 152  | 119 |
| 201  | 170 | 193  | 160 | 188  | 151 | 172  | 135 | 161  | 121 |
| 207  | 190 | 199  | 179 | 191  | 170 | 177  | 151 | 165  | 136 |
| 207  | 143 | 199  | 134 | 191  | 127 | 177  | 113 | 165  | 101 |
| 209  | 161 | 202  | 152 | 194  | 143 | 181  | 128 | 167  | 114 |
| 219  | 193 | 211  | 192 | 203  | 172 | 188  | 154 | 175  | 138 |
| 225  | 190 | 217  | 179 | 208  | 170 | 193  | 151 | 180  | 135 |
| 224  | 155 | 216  | 146 | 207  | 138 | 192  | 122 | 179  | 109 |
| 233  | 218 | 228  | 205 | 219  | 194 | 203  | 173 | 189  | 155 |
| 243  | 217 | 236  | 204 | 227  | 193 | 211  | 173 | 196  | 155 |
| 250  | 212 | 241  | 199 | 234  | 199 | 215  | 168 | 201  | 151 |
| 252  | 194 | 242  | 182 | 233  | 172 | 216  | 154 | 201  | 137 |
| 264  | 244 | 255  | 230 | 246  | 218 | 228  | 195 | 213  | 174 |
| 272  | 240 | 262  | 226 | 252  | 214 | 233  | 191 | 218  | 171 |
| 272  | 210 | 262  | 197 | 252  | 186 | 233  | 166 | 217  | 143 |
| 295  | 272 | 284  | 256 | 274  | 242 | 254  | 217 | 237  | 194 |
| 293  | 225 | 282  | 212 | 271  | 201 | 251  | 179 | 234  | 159 |
| 300  | 254 | 289  | 239 | 278  | 226 | 258  | 202 | 240  | 180 |
| 325  | 275 | 313  | 259 | 301  | 245 | 260  | 219 | 261  | 196 |
| 327  | 289 | 313  | 272 | 303  | 258 | 281  | 230 | 262  | 206 |
| 355  | 258 | 323  | 218 | 310  | 230 | 288  | 205 | 268  | 188 |
| 351  | 297 | 338  | 279 | 325  | 264 | 301  | 236 | 281  | 211 |
| 354  | 326 | 341  | 307 | 328  | 291 | 304  | 260 | 284  | 234 |
| 354  | 236 | 341  | 294 | 328  | 278 | 304  | 249 | 283  | 223 |
| 381  | 337 | 367  | 317 | 353  | 300 | 327  | 268 | 305  | 240 |
| 384  | 352 | 369  | 332 | 355  | 314 | 329  | 281 | 307  | 252 |
| 401  | 339 | 396  | 319 | 371  | 302 | 344  | 269 | 321  | 241 |
| 413  | 380 | 398  | 358 | 383  | 339 | 355  | 303 | 331  | 271 |
| 435  | 384 | 419  | 362 | 403  | 343 | 374  | 316 | 349  | 274 |
| 471  | 434 | 454  | 410 | 437  | 387 | 405  | 346 | 378  | 310 |

Допускаемые погонные нагрузки (без собственного веса балок) (т/м)

| bh × l в м | 2,50 |  | 2,6) |     | 2,80 |     | 3,00 |     | 3,20 |     | 3,40 |     |
|------------|------|--|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
|            |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 3,5 × 16   | 189  |  | 174  | 171 | 150  | 136 | 130  | 110 | 114  | 90  | 99   | 75  |
| 4 × 16     | 215  |  | 198  | 195 | 171  | 150 | 148  | 125 | 130  | 103 | 114  | 85  |
| 3,5 × 14   | 139  |  | 221  |     | 190  |     | 165  | 158 | 145  | 130 | 128  | 108 |
| 4 × 14     | 272  |  | 252  |     | 216  |     | 188  | 180 | 165  | 148 | 145  | 122 |
| 4,5 × 18   | 307  |  | 284  |     | 241  |     | 212  | 203 | 186  | 167 | 164  | 138 |
| 5 × 18     | 341  |  | 314  |     | 271  |     | 235  | 225 | 2 6  | 185 | 182  | 153 |
| 4,5 × 20   | 379  |  | 350  |     | 301  |     | 262  |     | 230  |     | 203  | 190 |
| 6 × 18     | 409  |  | 377  |     | 325  |     | 282  | 270 | 247  | 222 | 218  | 182 |
| 5 × 20     | 420  |  | 388  |     | 334  |     | 290  |     | 254  |     | 224  | 211 |
| 6 × 20     | 505  |  | 466  |     | 401  |     | 349  |     | 303  |     | 270  | 253 |
| 5 × 22     | 510  |  | 471  |     | 4 5  |     | 352  |     | 303  |     | 273  |     |
| 7 × 20     | 589  |  | 544  |     | 468  |     | 407  |     | 357  |     | 315  | 296 |
| 5 × 24     | 607  |  | 561  |     | 483  |     | 420  |     | 364  |     | 325  |     |
| 6 × 22     | 6 3  |  | 565  |     | 487  |     | 423  |     | 381  |     | 328  |     |
| 8 × 20     | 673  |  | 621  |     | 535  |     | 465  |     | 407  |     | 360  | 338 |
| 7 × 2      |      |  | 667  |     | 568  |     | 494  |     | 434  |     | 383  |     |
| 6 × 24     |      |  | 673  |     | 580  |     | 503  |     | 442  |     | 391  |     |
| 9 × 0      |      |  | 700  |     | 603  |     | 523  |     | 459  |     | 405  | 380 |
| 6 × 5      |      |  | 732  |     | 620  |     | 547  |     | 481  |     | 435  |     |
| 8 × 22     |      |  | 755  |     | 649  |     | 563  |     | 495  |     | 436  |     |
| 10 × 20    |      |  |      |     | 669  |     | 590  |     | 510  |     | 450  | 423 |
| 7 × 4      |      |  |      |     | 676  |     | 587  |     | 516  |     | 456  |     |
| 6 × 26     |      |  |      |     | 681  |     | 591  |     | 520  |     | 459  |     |
| 9 × 22     |      |  |      |     | 731  |     | 634  |     | 558  |     | 491  |     |
| 7 × 25     |      |  |      |     | 734  |     | 637  |     | 560  |     | 495  |     |
| 8 × 24     |      |  |      |     |      |     | 671  |     | 590  |     | 521  |     |
| 7 × 25     |      |  |      |     |      |     | 631  |     | 606  |     | 536  |     |
| 11 × 20    |      |  |      |     |      |     | 697  |     | 612  |     | 541  | 507 |
| 10 × 22    |      |  |      |     |      |     | 705  |     | 619  |     | 546  |     |
| 8 × 25     |      |  |      |     |      |     | 730  |     | 641  |     | 566  |     |
| 5 × 21     |      |  |      |     |      |     |      |     | 663  |     | 586  |     |
| 13 × 20    |      |  |      |     |      |     |      |     | 665  |     | 588  | 550 |
| 8 × 26     |      |  |      |     |      |     |      |     | 694  |     | 613  |     |
| 9 × 24     |      |  |      |     |      |     |      |     | 721  |     | 636  |     |
| 10 × 24    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     | 651  |     |
| 12 × 22    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     | 636  |     |
| 9 × 6      |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     | 688  |     |
| 10 × 25    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 13 × 22    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 10 × 26    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 14 × 22    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 12 × 24    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 13 × 24    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 12 × 25    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 16 × 23    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 14 × 24    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 12 × 26    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 13 × 25    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 14 × 25    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 13 × 26    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 16 × 24    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 14 × 6     |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 16 × 25    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
| 16 × 26    |      |  |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |

В левой вертикальной графе пролета даны нагрузки по напряжениям, в правой—по прогибу

Таблица 20

$$= 100 \text{ кг/см}^2, E = 10^5 \text{ кг/см}^2 \text{ и } \frac{f}{l} = \frac{1}{300}$$

| 3,50 |     | 3,80 |     | 3,80 |     | 4,00 |     | 4,20 |     |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 94   | 68  | 88   | 62  | 79   | 53  | 71   |     | 64   |     |
| 108  | 77  | 102  | 71  | 91   | 60  | 82   | 50  | 74   |     |
| 120  | 98  | 114  | 90  | 102  | 76  | 92   | 65  | 83   | 56  |
| 137  | 112 | 129  | 102 | 116  | 87  | 104  | 74  | 94   | 63  |
| 155  | 127 | 146  | 116 | 131  | 98  | 118  | 84  | 106  | 72  |
| 171  | 140 | 162  | 128 | 145  | 108 | 130  | 92  | 117  | 79  |
| 191  | 174 | 180  | 159 | 161  | 135 | 145  | 115 | 131  | 99  |
| 206  | 163 | 194  | 154 | 174  | 130 | 156  | 110 | 141  | 95  |
| 211  | 193 | 200  | 177 | 179  | 149 | 161  | 127 | 145  | 109 |
| 254  | 232 | 240  | 212 | 215  | 179 | 193  | 153 | 174  | 131 |
| 257  |     | 243  | 237 | 217  | 201 | 196  | 171 | 177  | 147 |
| 297  | 270 | 280  | 248 | 251  | 211 | 226  | 178 | 204  | 153 |
| 306  |     | 289  |     | 259  |     | 233  | 223 | 211  | 192 |
| 310  |     | 292  | 285 | 261  | 241 | 235  | 206 | 213  | 177 |
| 339  | 309 | 321  | 283 | 287  | 240 | 258  | 204 | 233  | 175 |
| 361  |     | 342  | 332 | 306  | 282 | 275  | 240 | 248  | 207 |
| 368  |     | 318  |     | 312  |     | 290  | 268 | 254  | 231 |
| 382  | 349 | 361  | 319 | 323  | 210 | 290  | 230 | 262  | 197 |
| 400  |     | 378  |     | 339  |     | 304  |     | 275  | 202 |
| 411  |     | 338  | 370 | 347  | 321 | 312  | 274 | 283  | 235 |
| 424  | 387 | 400  | 354 | 359  | 300 | 323  | 255 | 292  | 219 |
| 430  |     | 406  |     | 364  |     | 327  | 313 | 296  | 270 |
| 432  |     | 409  |     | 366  |     | 329  |     | 298  | 295 |
| 434  |     | 438  | 426 | 392  | 361 | 352  | 308 | 319  | 265 |
| 466  |     | 440  |     | 394  |     | 355  |     | 321  | 305 |
| 491  |     | 465  |     | 416  |     | 374  | 358 | 339  | 309 |
| 505  |     | 478  |     | 423  |     | 385  |     | 348  | 344 |
| 510  | 454 | 431  | 425 | 430  | 360 | 387  | 307 | 350  | 263 |
| 514  |     | 487  | 474 | 435  | 402 | 392  | 341 | 354  | 295 |
| 535  |     | 505  |     | 452  |     | 406  |     | 368  | 350 |
| 553  |     | 522  |     | 467  |     | 420  | 403 | 390  | 346 |
| 552  | 503 | 522  | 481 | 467  | 391 | 420  | 332 | 379  | 246 |
| 577  |     | 545  |     | 499  |     | 439  |     | 398  | 394 |
| 589  |     | 567  |     | 508  |     | 456  |     | 413  | 393 |
| 614  |     | 580  |     | 510  |     | 467  | 447 | 422  | 385 |
| 617  |     | 534  | 569 | 522  | 482 | 470  | 411 | 426  | 354 |
| 649  |     | 618  |     | 548  |     | 493  |     | 447  | 443 |
| 666  |     | 629  |     | 561  |     | 506  |     | 458  | 436 |
| 669  |     | 631  | 616 | 565  | 522 | 509  | 445 | 460  | 383 |
|      |     | 632  |     | 610  |     | 549  |     | 497  | 492 |
|      |     | 650  | 663 | 609  | 582 | 548  | 479 | 495  | 412 |
|      |     | 695  |     | 623  |     | 560  | 536 | 507  | 462 |
|      |     |      |     | 675  |     | 607  | 581 | 549  | 501 |
|      |     |      |     | 667  |     | 609  |     | 551  | 524 |
|      |     |      | 758 | 626  | 643 | 626  | 549 | 566  | 472 |
|      |     |      |     | 654  |     | 626  |     | 598  | 539 |
|      |     |      |     | 660  |     |      |     | 598  | 590 |
|      |     |      |     | 659  |     |      |     | 598  | 567 |
|      |     |      |     | 709  |     |      |     | 642  | 611 |
|      |     |      |     | 713  |     |      |     | 646  | 639 |
|      |     |      |     |      |     |      | 715 | 676  | 616 |
|      |     |      |     |      |     |      |     | 696  | 689 |
|      |     |      |     |      |     |      |     |      | 698 |
|      |     |      |     |      |     |      |     |      | 787 |

БАЛКИ ПРОСТЕЙШЕГО ВИДА

Допускаемые погонные нагрузки (без собственного веса балок) [н/м]

| $b \times h$ \ I в.м | 4,40 | 4,50 | 4,60 | 4,80 | 5,00 | 5,20 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| 3,5×16               |      |      |      |      |      |      |
| 4×16                 |      |      |      |      |      |      |
| 3,5×18               | 75   | 72   | 69   | 71   |      |      |
| 4×18                 | 85   | 81   | 78   |      |      |      |
| 4,5×18               | 97   | 92   | 88   | 54   | 74   | 75   |
| 5×18                 | 107  | 102  | 97   | 59   | 81   | 84   |
| 4,5×20               | 119  | 114  | 109  | 74   | 99   | 101  |
| 6×18                 | 128  | 122  | 117  | 71   | 106  | 108  |
| 5×20                 | 132  | 126  | 120  | 82   | 110  | 111  |
| 6×20                 | 158  | 151  | 144  | 98   | 132  | 135  |
| 5×22                 | 161  | 153  | 146  | 111  | 134  | 138  |
| 7×20                 | 185  | 177  | 169  | 115  | 154  | 157  |
| 5×24                 | 192  | 186  | 183  | 156  | 160  | 162  |
| 6×22                 | 193  | 184  | 176  | 133  | 161  | 164  |
| 8×20                 | 211  | 202  | 193  | 131  | 176  | 178  |
| 7×22                 | 226  | 215  | 206  | 156  | 188  | 191  |
| 6×24                 | 231  | 220  | 210  | 174  | 192  | 195  |
| 9×20                 | 238  | 227  | 217  | 148  | 198  | 201  |
| 6×25                 | 251  | 239  | 229  | 198  | 209  | 212  |
| 8×22                 | 257  | 245  | 234  | 177  | 214  | 217  |
| 10×20                | 265  | 253  | 241  | 165  | 221  | 224  |
| 7×24                 | 269  | 257  | 245  | 203  | 224  | 227  |
| 6×26                 | 271  | 258  | 247  | 222  | 226  | 229  |
| 9×22                 | 289  | 278  | 264  | 199  | 241  | 244  |
| 7×25                 | 291  | 278  | 266  | 230  | 243  | 246  |
| 8×24                 | 308  | 294  | 281  | 233  | 257  | 260  |
| 7×26                 | 317  | 302  | 289  | 260  | 264  | 267  |
| 12×20                | 318  | 303  | 290  | 198  | 265  | 268  |
| 10×22                | 323  | 307  | 293  | 224  | 268  | 271  |
| 8×25                 | 335  | 319  | 306  | 265  | 270  | 273  |
| 9×24                 | 346  | 330  | 316  | 261  | 288  | 291  |
| 13×20                | 345  | 329  | 314  | 214  | 287  | 290  |
| 8×26                 | 362  | 345  | 331  | 298  | 302  | 305  |
| 9×25                 | 376  | 359  | 342  | 297  | 313  | 316  |
| 10×24                | 384  | 368  | 350  | 290  | 320  | 323  |
| 12×22                | 386  | 369  | 352  | 267  | 322  | 325  |
| 9×26                 | 407  | 387  | 369  | 334  | 339  | 342  |
| 10×25                | 417  | 397  | 383  | 329  | 347  | 350  |
| 13×22                | 418  | 399  | 381  | 288  | 348  | 351  |
| 10×26                | 452  | 431  | 399  | 412  | 372  | 375  |
| 14×22                | 450  | 395  | 333  | 411  | 310  | 313  |
| 12×24                | 461  | 398  | 374  | 420  | 348  | 351  |
| 13×24                | 499  | 432  | 405  | 455  | 378  | 381  |
| 12×25                | 501  | 452  | 424  | 457  | 396  | 399  |
| 16×22                | 515  | 406  | 381  | 469  | 355  | 358  |
| 14×24                | 538  | 465  | 437  | 492  | 407  | 410  |
| 12×26                | 543  | 509  | 478  | 495  | 448  | 451  |
| 14×25                | 543  | 489  | 459  | 495  | 452  | 455  |
| 14×26                | 583  | 527  | 498  | 532  | 461  | 464  |
| 13×26                | 582  | 551  | 518  | 536  | 483  | 486  |
| 16×24                | 614  | 533  | 499  | 560  | 465  | 468  |
| 14×26                | 634  | 594  | 558  | 578  | 520  | 523  |
| 16×25                | 668  | 602  | 565  | 609  | 527  | 530  |
| 16×26                |      | 679  | 637  | 659  | 594  | 597  |

$$= 100 \text{ кг/см}^2, E = 10^5 \text{ кг/см}^2 \text{ и } \frac{f}{l} = \frac{1}{300}$$

| 5,40 |     | 5,50 |     | 5,60 |     | 5,80 |     | 6,00 |     |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 77   |     | 74   |     | 79   |     | 88   |     | 82   |     |
| 83   |     | 82   |     | 95   |     | 90   | 52  | 84   |     |
| 85   |     | 89   | 54  | 97   | 59  | 103  | 53  | 96   |     |
| 103  | 58  | 101  | 64  | 111  | 60  | 107  | 69  | 100  | 61  |
| 105  | 66  | 116  | 81  | 115  | 77  | 118  | 61  | 109  | 58  |
| 120  | 67  | 120  | 75  | 117  | 71  | 118  | 63  | 101  | 54  |
| 125  | 81  | 121  | 73  | 127  | 69  | 126  | 74  | 118  | 61  |
| 126  | 80  | 132  | 87  | 136  | 83  | 129  | 83  | 120  | 74  |
| 137  | 73  | 145  | 98  | 139  | 93  | 133  | 69  | 123  | 61  |
| 147  | 93  | 149  | 82  | 143  | 76  | 141  | 95  | 131  | 84  |
| 150  | 105 | 152  | 99  | 155  | 94  | 143  | 83  | 133  | 74  |
| 155  | 88  | 159  | 93  | 159  | 86  | 147  | 77  | 137  | 68  |
| 164  | 119 | 162  | 159 | 162  | 109 | 151  | 97  | 140  | 86  |
| 167  | 106 | 166  | 162 | 164  | 119 | 153  | 106 | 141  | 95  |
| 172  | 98  | 169  | 164 | 174  | 103 | 161  | 96  | 150  | 83  |
| 175  | 122 | 171  | 174 | 176  | 123 | 163  | 110 | 152  | 98  |
| 176  | 134 | 183  | 176 | 182  | 124 | 172  | 111 | 161  | 99  |
| 188  | 119 | 188  | 186 | 191  | 140 | 177  | 125 | 165  | 82  |
| 190  | 138 | 193  | 186 | 191  | 104 | 177  | 92  | 165  | 82  |
| 201  | 140 | 199  | 191 | 184  | 118 | 180  | 105 | 167  | 93  |
| 207  | 157 | 202  | 203 | 203  | 142 | 188  | 127 | 175  | 113 |
| 207  | 117 | 207  | 208 | 208  | 139 | 193  | 124 | 180  | 111 |
| 209  | 133 | 217  | 207 | 207  | 112 | 192  | 100 | 179  | 88  |
| 219  | 160 | 216  | 219 | 219  | 160 | 203  | 143 | 189  | 128 |
| 225  | 157 | 228  | 219 | 219  | 160 | 203  | 143 | 189  | 128 |
| 224  | 127 | 236  | 227 | 227  | 159 | 211  | 142 | 196  | 127 |
| 236  | 180 | 241  | 234 | 234  | 155 | 215  | 138 | 201  | 123 |
| 245  | 179 | 242  | 233 | 233  | 141 | 216  | 126 | 201  | 112 |
| 250  | 174 | 255  | 246 | 246  | 179 | 228  | 160 | 213  | 143 |
| 252  | 159 | 262  | 252 | 252  | 176 | 233  | 157 | 218  | 140 |
| 264  | 202 | 262  | 252 | 252  | 152 | 233  | 135 | 217  | 120 |
| 272  | 198 | 284  | 271 | 271  | 200 | 254  | 178 | 237  | 159 |
| 272  | 172 | 282  | 271 | 271  | 164 | 251  | 146 | 234  | 130 |
| 295  | 224 | 289  | 278 | 278  | 186 | 258  | 166 | 240  | 149 |
| 293  | 185 | 301  | 301 | 301  | 202 | 281  | 180 | 261  | 160 |
| 300  | 209 | 313  | 308 | 308  | 212 | 281  | 189 | 262  | 169 |
| 325  | 227 | 315  | 310 | 310  | 188 | 288  | 167 | 268  | 149 |
| 327  | 238 | 323  | 325 | 325  | 217 | 301  | 194 | 281  | 173 |
| 335  | 212 | 334  | 318 | 318  | 239 | 304  | 214 | 284  | 191 |
| 351  | 245 | 341  | 328 | 328  | 229 | 304  | 204 | 283  | 182 |
| 354  | 269 | 341  | 353 | 353  | 247 | 327  | 210 | 305  | 197 |
| 354  | 258 | 367  | 355 | 355  | 259 | 329  | 231 | 307  | 206 |
| 381  | 278 | 369  | 371 | 371  | 248 | 344  | 221 | 321  | 197 |
| 384  | 291 | 388  | 383 | 383  | 279 | 355  | 249 | 331  | 223 |
| 400  | 279 | 398  | 408 | 408  | 282 | 374  | 252 | 349  | 224 |
| 418  | 314 | 419  | 437 | 437  | 319 | 405  | 285 | 378  | 254 |
| 435  | 317 | 454  |     |      |     |      |     |      |     |
| 441  | 359 |      |     |      |     |      |     |      |     |



Допускаемые погонные нагрузки (без собственного веса балок) [н<sub>н</sub>]

| $b \times h$ \ I в м | 2,50 | 3,00 | 2,80 | 3,00 | 3,20 | 3,40 |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 3,5×18               | 188  | 164  | 174  | 146  | 150  | 116  | 130 | 94  | 114 | 77  | 99  | 64  |
| 4×18                 | 215  | 188  | 198  | 166  | 171  | 133  | 148 | 107 | 130 | 87  | 114 | 72  |
| 3,5×18               | 239  | 206  | 221  | 209  | 190  | 167  | 165 | 135 | 145 | 101 | 128 | 92  |
| 4×18                 | 272  | 269  | 252  | 239  | 216  | 191  | 188 | 154 | 165 | 126 | 145 | 104 |
| 4,5×18               | 307  | 303  | 294  | 269  | 244  | 215  | 212 | 174 | 186 | 142 | 164 | 118 |
| 5×18                 | 341  | 388  | 314  | 298  | 271  | 238  | 235 | 192 | 206 | 158 | 182 | 130 |
| 4,5×20               | 379  |      | 350  |      | 301  | 295  | 262 | 239 | 230 | 196 | 203 | 162 |
| 6×18                 | 409  | 408  | 377  | 358  | 325  | 386  | 282 | 231 | 247 | 189 | 218 | 157 |
| 5×20                 | 420  |      | 388  |      | 334  | 328  | 290 | 265 | 254 | 217 | 224 | 180 |
| 6×20                 | 505  |      | 468  |      | 401  | 393  | 340 | 218 | 308 | 201 | 270 | 210 |
| 5×22                 | 510  |      | 471  |      | 405  |      | 352 |     | 309 | 291 | 273 | 241 |
| 7×20                 | 599  |      | 544  |      | 468  | 459  | 407 | 371 | 357 | 304 | 315 | 252 |
| 5×24                 | 607  |      | 561  |      | 483  |      | 420 |     | 368 |     | 325 | 314 |
| 6×22                 | 613  |      | 565  |      | 487  |      | 423 |     | 361 | 349 | 328 | 290 |
| 8×20                 | 673  |      | 621  |      | 535  | 525  | 465 | 424 | 407 | 348 | 360 | 288 |
| 7×22                 |      |      | 662  |      | 568  |      | 494 |     | 434 | 407 | 383 | 338 |
| 6×24                 |      |      | 673  |      | 580  |      | 503 |     | 442 |     | 391 | 377 |
| 9×20                 |      |      | 700  |      | 603  | 590  | 523 | 477 | 459 | 391 | 405 | 325 |
| 6×25                 |      |      | 732  |      | 630  |      | 547 |     | 481 |     | 435 |     |
| 8×22                 |      |      | 755  |      | 649  |      | 563 |     | 495 | 465 | 436 | 386 |
| 10×20                |      |      |      |      | 669  | 656  | 580 | 530 | 510 | 435 | 450 | 361 |
| 7×24                 |      |      |      |      | 676  |      | 587 |     | 518 |     | 454 | 441 |
| 6×26                 |      |      |      |      | 681  |      | 591 |     | 520 |     | 459 |     |
| 9×22                 |      |      |      |      | 731  |      | 634 |     | 556 | 523 | 491 | 434 |
| 9×25                 |      |      |      |      | 734  |      | 637 |     | 560 |     | 495 |     |
| 8×24                 |      |      |      |      |      |      | 671 |     | 590 |     | 521 | 505 |
| 7×26                 |      |      |      |      |      |      | 691 |     | 606 |     | 536 |     |
| 12×20                |      |      |      |      |      | 787  | 697 | 636 | 612 | 522 | 541 | 433 |
| 10×22                |      |      |      |      |      |      | 705 |     | 619 | 582 | 546 | 483 |
| 8×25                 |      |      |      |      |      |      | 730 |     | 641 |     | 566 |     |
| 9×24                 |      |      |      |      |      |      |     |     | 663 |     | 568 | 566 |
| 13×20                |      |      |      |      |      | 853  |     | 690 | 665 | 506 | 586 | 489 |
| 8×26                 |      |      |      |      |      |      |     |     | 694 |     | 613 |     |
| 9×25                 |      |      |      |      |      |      |     |     | 721 |     | 636 |     |
| 10×24                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     | 651 | 529 |
| 13×22                |      |      |      |      |      |      |     |     |     | 698 | 656 | 560 |
| 9×26                 |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     | 688 |     |
| 10×25                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 13×22                |      |      |      |      |      |      |     |     |     | 756 |     | 627 |
| 10×26                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 14×22                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     | 676 |
| 12×24                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 13×24                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 12×25                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 16×22                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 14×24                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 12×26                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 13×25                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 14×25                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 13×26                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 16×24                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 14×26                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 16×25                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 16×26                |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |

В левой вертикальной графе Пролета даны нагрузки по напряжениям, в правой — по прогибам.

$$= 100 \text{ кг/см}^2, E = 10^5 \text{ кг/см}^2 \text{ и } \frac{f}{l} = \frac{1}{350}$$

Таблица 22

| 6,50 |     | 3,60 |     | 3,80 |     | 4,00 |     | 4,20 |     |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 94   | 58  | 89   | 53  | 79   |     | 71   |     | 64   |     |
| 108  | 68  | 102  | 60  | 91   | 51  | 82   |     | 74   |     |
| 120  | 84  | 114  | 77  | 102  | 65  | 92   | 55  | 83   |     |
| 137  | 95  | 129  | 87  | 116  | 74  | 104  | 63  | 94   | 54  |
| 155  | 108 | 146  | 99  | 131  | 83  | 118  | 71  | 106  | 61  |
| 171  | 119 | 162  | 109 | 145  | 92  | 130  | 78  | 117  | 67  |
| 191  | 148 | 180  | 136 | 161  | 115 | 145  | 98  | 131  | 84  |
| 206  | 143 | 194  | 131 | 174  | 110 | 156  | 94  | 141  | 80  |
| 211  | 164 | 200  | 150 | 179  | 127 | 161  | 108 | 145  | 93  |
| 254  | 198 | 240  | 181 | 215  | 153 | 193  | 130 | 174  | 112 |
| 257  | 221 | 243  | 202 | 217  | 171 | 196  | 146 | 177  | 126 |
| 297  | 231 | 280  | 211 | 251  | 178 | 226  | 152 | 204  | 130 |
| 306  | 287 | 289  | 263 | 259  | 223 | 233  | 190 | 211  | 164 |
| 309  | 265 | 292  | 243 | 261  | 206 | 235  | 175 | 213  | 151 |
| 330  | 264 | 321  | 241 | 287  | 204 | 258  | 174 | 233  | 149 |
| 361  | 310 | 342  | 283 | 308  | 240 | 275  | 205 | 248  | 176 |
| 368  | 346 | 348  | 316 | 312  | 268 | 280  | 229 | 251  | 197 |
| 382  | 297 | 361  | 272 | 323  | 230 | 290  | 296 | 262  | 168 |
| 401  | 392 | 378  | 359 | 339  | 304 | 304  | 260 | 275  | 224 |
| 411  | 353 | 388  | 321 | 347  | 274 | 312  | 233 | 283  | 200 |
| 424  | 330 | 400  | 302 | 359  | 255 | 323  | 217 | 292  | 187 |
| 430  | 403 | 406  | 369 | 364  | 313 | 327  | 267 | 296  | 230 |
| 432  |     | 409  | 403 | 366  | 342 | 329  | 292 | 298  | 252 |
| 464  | 897 | 438  | 364 | 392  | 308 | 352  | 263 | 319  | 226 |
| 466  | 456 | 440  | 418 | 394  | 354 | 355  | 302 | 321  | 260 |
| 491  | 461 | 465  | 423 | 416  | 358 | 374  | 308 | 333  | 263 |
| 505  |     | 478  | 471 | 428  | 400 | 385  | 342 | 348  | 294 |
| 510  | 397 | 481  | 362 | 430  | 306 | 387  | 261 | 350  | 224 |
| 514  | 441 | 487  | 404 | 435  | 342 | 392  | 292 | 354  | 251 |
| 535  | 523 | 505  | 479 | 452  | 406 | 406  | 347 | 368  | 299 |
| 553  | 518 | 522  | 475 | 467  | 402 | 420  | 343 | 380  | 295 |
| 552  | 429 | 522  | 393 | 467  | 332 | 420  | 2-3 | 379  | 243 |
| 577  |     | 545  | 538 | 489  | 457 | 439  | 390 | 398  | 336 |
| 599  | 587 | 567  | 538 | 508  | 456 | 456  | 389 | 413  | 355 |
| 614  | 576 | 580  | 528 | 519  | 447 | 467  | 382 | 422  | 328 |
| 617  | 531 | 584  | 486 | 522  | 411 | 470  | 351 | 426  | 302 |
| 649  |     | 613  | 606 | 548  | 513 | 493  | 439 | 447  | 378 |
| 666  | 652 | 629  | 597 | 563  | 506 | 506  | 432 | 458  | 372 |
| 669  | 574 | 633  | 525 | 565  | 445 | 509  | 379 | 460  | 326 |
|      |     | 682  | 673 | 610  | 571 | 549  | 498 | 497  | 418 |
|      | 618 | 680  | 568 | 609  | 479 | 548  | 408 | 495  | 351 |
|      | 691 | 695  | 613 | 623  | 536 | 560  | 457 | 507  | 394 |
|      |     |      | 636 | 675  | 581 | 607  | 496 | 549  | 427 |
|      |     |      | 717 | 657  | 608 | 609  | 519 | 551  | 447 |
|      | 707 |      | 647 | 696  | 548 | 626  | 467 | 566  | 402 |
|      |     |      | 739 |      | 628 | 674  | 534 | 593  | 460 |
|      |     |      |     |      | 695 | 660  | 585 | 598  | 504 |
|      |     |      |     |      | 657 | 659  | 562 | 598  | 474 |
|      |     |      |     |      | 709 | 709  | 605 | 642  | 521 |
|      |     |      |     |      | 741 | 713  | 633 | 646  | 545 |
|      |     |      |     |      | 715 |      | 610 | 676  | 525 |
|      |     |      |     |      |     |      | 682 | 696  | 588 |
|      |     |      |     |      |     |      | 692 |      | 596 |
|      |     |      |     |      |     |      |     |      | 672 |

ВАЛКИ ПРОСТАЙШЕГО ВИДА



Таблица 21

Допускаемые ветровые нагрузки (без собственного веса балок)  $[q_w] = 100 \text{ мс/см}^2$ ,  $E = 10^5 \text{ мс/см}^2$  и  $f = \frac{1}{400}$

| $l$ и $h$<br>$b \times h$ | 3,50 | 3,60 | 2,80 | 3,00 | 3,20 | в,40 | 3,50 | 3,80 | 4,00 | 4,20 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3,5×16                    | 188  | 174  | 150  | 88   | 114  | 99   | 55   | 94   | 88   | 64   |
| 4×16                      | 215  | 198  | 171  | 93   | 130  | 114  | 63   | 108  | 102  | 74   |
| 3,5×18                    | 239  | 221  | 195  | 118  | 128  | 128  | 80   | 130  | 114  | 82   |
| 4×18                      | 272  | 252  | 216  | 134  | 145  | 145  | 91   | 137  | 128  | 92   |
| 4,5×18                    | 307  | 285  | 244  | 151  | 164  | 164  | 103  | 155  | 145  | 104  |
| 5×18                      | 341  | 314  | 271  | 168  | 182  | 182  | 111  | 171  | 162  | 117  |
| 5×20                      | 379  | 350  | 301  | 188  | 206  | 206  | 126  | 196  | 180  | 131  |
| 6×20                      | 409  | 382  | 325  | 208  | 218  | 218  | 141  | 214  | 200  | 145  |
| 6×22                      | 420  | 398  | 349  | 221  | 224  | 224  | 151  | 224  | 210  | 157  |
| 6×24                      | 505  | 466  | 401  | 249  | 270  | 270  | 171  | 270  | 256  | 184  |
| 7×20                      | 589  | 544  | 483  | 281  | 315  | 315  | 201  | 315  | 301  | 226  |
| 7×22                      | 607  | 561  | 503  | 305  | 328  | 328  | 211  | 328  | 315  | 233  |
| 8×20                      | 615  | 565  | 497  | 321  | 342  | 342  | 221  | 342  | 328  | 240  |
| 8×22                      | 673  | 621  | 555  | 351  | 360  | 360  | 241  | 360  | 348  | 256  |
| 9×20                      | 673  | 621  | 555  | 371  | 381  | 381  | 251  | 381  | 368  | 276  |
| 9×22                      | 727  | 673  | 603  | 401  | 407  | 407  | 271  | 407  | 395  | 292  |
| 10×20                     | 808  | 755  | 681  | 431  | 439  | 439  | 291  | 439  | 426  | 319  |
| 10×22                     | 808  | 755  | 681  | 451  | 459  | 459  | 301  | 459  | 446  | 338  |
| 11×20                     | 808  | 755  | 681  | 481  | 489  | 489  | 311  | 489  | 476  | 357  |
| 11×22                     | 808  | 755  | 681  | 501  | 509  | 509  | 321  | 509  | 496  | 376  |
| 12×20                     | 808  | 755  | 681  | 531  | 539  | 539  | 331  | 539  | 526  | 395  |
| 12×22                     | 808  | 755  | 681  | 551  | 559  | 559  | 341  | 559  | 546  | 414  |
| 13×20                     | 808  | 755  | 681  | 581  | 589  | 589  | 351  | 589  | 576  | 433  |
| 13×22                     | 808  | 755  | 681  | 601  | 609  | 609  | 361  | 609  | 596  | 452  |
| 14×20                     | 808  | 755  | 681  | 631  | 639  | 639  | 371  | 639  | 626  | 471  |
| 14×22                     | 808  | 755  | 681  | 651  | 659  | 659  | 381  | 659  | 646  | 490  |
| 15×20                     | 808  | 755  | 681  | 681  | 689  | 689  | 391  | 689  | 676  | 509  |
| 15×22                     | 808  | 755  | 681  | 701  | 709  | 709  | 401  | 709  | 696  | 528  |
| 16×20                     | 808  | 755  | 681  | 731  | 739  | 739  | 411  | 739  | 726  | 547  |
| 16×22                     | 808  | 755  | 681  | 751  | 759  | 759  | 421  | 759  | 746  | 566  |
| 16×24                     | 808  | 755  | 681  | 771  | 779  | 779  | 431  | 779  | 766  | 585  |
| 16×26                     | 808  | 755  | 681  | 791  | 799  | 799  | 441  | 799  | 786  | 604  |
| 16×28                     | 808  | 755  | 681  | 811  | 819  | 819  | 451  | 819  | 806  | 623  |
| 16×30                     | 808  | 755  | 681  | 831  | 839  | 839  | 461  | 839  | 826  | 642  |
| 16×32                     | 808  | 755  | 681  | 851  | 859  | 859  | 471  | 859  | 846  | 661  |
| 16×34                     | 808  | 755  | 681  | 871  | 879  | 879  | 481  | 879  | 866  | 680  |
| 16×36                     | 808  | 755  | 681  | 891  | 899  | 899  | 491  | 899  | 886  | 699  |
| 16×38                     | 808  | 755  | 681  | 911  | 919  | 919  | 501  | 919  | 906  | 718  |
| 16×40                     | 808  | 755  | 681  | 931  | 939  | 939  | 511  | 939  | 926  | 737  |
| 16×42                     | 808  | 755  | 681  | 951  | 959  | 959  | 521  | 959  | 946  | 756  |
| 16×44                     | 808  | 755  | 681  | 971  | 979  | 979  | 531  | 979  | 966  | 775  |
| 16×46                     | 808  | 755  | 681  | 991  | 999  | 999  | 541  | 999  | 986  | 794  |
| 16×48                     | 808  | 755  | 681  | 1011 | 1019 | 1019 | 551  | 1019 | 1006 | 813  |
| 16×50                     | 808  | 755  | 681  | 1031 | 1039 | 1039 | 561  | 1039 | 1026 | 832  |
| 16×52                     | 808  | 755  | 681  | 1051 | 1059 | 1059 | 571  | 1059 | 1046 | 851  |
| 16×54                     | 808  | 755  | 681  | 1071 | 1079 | 1079 | 581  | 1079 | 1066 | 870  |
| 16×56                     | 808  | 755  | 681  | 1091 | 1099 | 1099 | 591  | 1099 | 1086 | 889  |
| 16×58                     | 808  | 755  | 681  | 1111 | 1119 | 1119 | 601  | 1119 | 1106 | 908  |
| 16×60                     | 808  | 755  | 681  | 1131 | 1139 | 1139 | 611  | 1139 | 1126 | 927  |
| 16×62                     | 808  | 755  | 681  | 1151 | 1159 | 1159 | 621  | 1159 | 1146 | 946  |
| 16×64                     | 808  | 755  | 681  | 1171 | 1179 | 1179 | 631  | 1179 | 1166 | 965  |
| 16×66                     | 808  | 755  | 681  | 1191 | 1199 | 1199 | 641  | 1199 | 1186 | 984  |
| 16×68                     | 808  | 755  | 681  | 1211 | 1219 | 1219 | 651  | 1219 | 1206 | 1003 |
| 16×70                     | 808  | 755  | 681  | 1231 | 1239 | 1239 | 661  | 1239 | 1226 | 1022 |
| 16×72                     | 808  | 755  | 681  | 1251 | 1259 | 1259 | 671  | 1259 | 1246 | 1041 |
| 16×74                     | 808  | 755  | 681  | 1271 | 1279 | 1279 | 681  | 1279 | 1266 | 1060 |
| 16×76                     | 808  | 755  | 681  | 1291 | 1299 | 1299 | 691  | 1299 | 1286 | 1079 |
| 16×78                     | 808  | 755  | 681  | 1311 | 1319 | 1319 | 701  | 1319 | 1306 | 1098 |
| 16×80                     | 808  | 755  | 681  | 1331 | 1339 | 1339 | 711  | 1339 | 1326 | 1117 |
| 16×82                     | 808  | 755  | 681  | 1351 | 1359 | 1359 | 721  | 1359 | 1346 | 1136 |
| 16×84                     | 808  | 755  | 681  | 1371 | 1379 | 1379 | 731  | 1379 | 1366 | 1155 |
| 16×86                     | 808  | 755  | 681  | 1391 | 1399 | 1399 | 741  | 1399 | 1386 | 1174 |
| 16×88                     | 808  | 755  | 681  | 1411 | 1419 | 1419 | 751  | 1419 | 1406 | 1193 |
| 16×90                     | 808  | 755  | 681  | 1431 | 1439 | 1439 | 761  | 1439 | 1426 | 1212 |
| 16×92                     | 808  | 755  | 681  | 1451 | 1459 | 1459 | 771  | 1459 | 1446 | 1231 |
| 16×94                     | 808  | 755  | 681  | 1471 | 1479 | 1479 | 781  | 1479 | 1466 | 1250 |
| 16×96                     | 808  | 755  | 681  | 1491 | 1499 | 1499 | 791  | 1499 | 1486 | 1269 |
| 16×98                     | 808  | 755  | 681  | 1511 | 1519 | 1519 | 801  | 1519 | 1506 | 1288 |
| 16×100                    | 808  | 755  | 681  | 1531 | 1539 | 1539 | 811  | 1539 | 1526 | 1307 |
| 16×102                    | 808  | 755  | 681  | 1551 | 1559 | 1559 | 821  | 1559 | 1546 | 1326 |
| 16×104                    | 808  | 755  | 681  | 1571 | 1579 | 1579 | 831  | 1579 | 1566 | 1345 |
| 16×106                    | 808  | 755  | 681  | 1591 | 1599 | 1599 | 841  | 1599 | 1586 | 1364 |
| 16×108                    | 808  | 755  | 681  | 1611 | 1619 | 1619 | 851  | 1619 | 1606 | 1383 |
| 16×110                    | 808  | 755  | 681  | 1631 | 1639 | 1639 | 861  | 1639 | 1626 | 1402 |
| 16×112                    | 808  | 755  | 681  | 1651 | 1659 | 1659 | 871  | 1659 | 1646 | 1421 |
| 16×114                    | 808  | 755  | 681  | 1671 | 1679 | 1679 | 881  | 1679 | 1666 | 1440 |
| 16×116                    | 808  | 755  | 681  | 1691 | 1699 | 1699 | 891  | 1699 | 1686 | 1459 |
| 16×118                    | 808  | 755  | 681  | 1711 | 1719 | 1719 | 901  | 1719 | 1706 | 1478 |
| 16×120                    | 808  | 755  | 681  | 1731 | 1739 | 1739 | 911  | 1739 | 1726 | 1497 |
| 16×122                    | 808  | 755  | 681  | 1751 | 1759 | 1759 | 921  | 1759 | 1746 | 1516 |
| 16×124                    | 808  | 755  | 681  | 1771 | 1779 | 1779 | 931  | 1779 | 1766 | 1535 |
| 16×126                    | 808  | 755  | 681  | 1791 | 1799 | 1799 | 941  | 1799 | 1786 | 1554 |
| 16×128                    | 808  | 755  | 681  | 1811 | 1819 | 1819 | 951  | 1819 | 1806 | 1573 |
| 16×130                    | 808  | 755  | 681  | 1831 | 1839 | 1839 | 961  | 1839 | 1826 | 1592 |
| 16×132                    | 808  | 755  | 681  | 1851 | 1859 | 1859 | 971  | 1859 | 1846 | 1611 |
| 16×134                    | 808  | 755  | 681  | 1871 | 1879 | 1879 | 981  | 1879 | 1866 | 1630 |
| 16×136                    | 808  | 755  | 681  | 1891 | 1899 | 1899 | 991  | 1899 | 1886 | 1649 |
| 16×138                    | 808  | 755  | 681  | 1911 | 1919 | 1919 | 1001 | 1919 | 1906 | 1668 |
| 16×140                    | 808  | 755  | 681  | 1931 | 1939 | 1939 | 1011 | 1939 | 1926 | 1687 |
| 16×142                    | 808  | 755  | 681  | 1951 | 1959 | 1959 | 1021 | 1959 | 1946 | 1706 |
| 16×144                    | 808  | 755  | 681  | 1971 | 1979 | 1979 | 1031 | 1979 | 1966 | 1725 |
| 16×146                    | 808  | 755  | 681  | 1991 | 1999 | 1999 | 1041 | 1999 | 1986 | 1744 |
| 16×148                    | 808  | 755  | 681  | 2011 | 2019 | 2019 | 1051 | 2019 | 2006 | 1763 |
| 16×150                    | 808  | 755  | 681  | 2031 | 2039 | 2039 | 1061 | 2039 | 2026 | 1782 |
| 16×152                    | 808  | 755  | 681  | 2051 | 2059 | 2059 | 1071 | 2059 | 2046 | 1801 |
| 16×154                    | 808  | 755  | 681  | 2071 | 2079 | 2079 | 1081 | 2079 | 2066 | 1820 |
| 16×156                    | 808  | 755  | 681  | 2091 | 2099 | 2099 | 1091 | 2099 | 2086 | 1839 |
| 16×158                    | 808  | 755  | 681  | 2111 | 2119 | 2119 | 1101 | 2119 | 2106 | 1858 |
| 16×160                    | 808  | 755  | 681  | 2131 | 2139 | 2139 | 1111 | 2139 | 2126 | 1877 |
| 16×162                    | 808  | 755  | 681  | 2151 | 2159 | 2159 | 1121 | 2159 | 2146 | 1896 |
| 16×164                    | 808  | 755  | 681  | 2171 | 2179 | 2179 | 1131 | 2179 | 2166 | 1915 |
| 16×166                    | 808  | 755  | 681  | 2191 | 2199 | 2199 | 1141 | 2199 | 2186 | 1934 |
| 16×168                    | 808  | 755  | 681  | 2211 | 2219 | 2219 | 1151 | 2219 | 2206 | 1953 |
| 16×170                    | 808  | 755  | 681  | 2231 | 2239 | 2239 | 1161 | 2239 | 2226 | 1972 |
| 16×172                    | 808  | 755  | 681  | 2251 | 2259 | 2259 | 1171 | 2259 | 2246 | 1991 |
| 16×174                    | 808  | 755  | 681  | 2271 | 2279 | 2279 | 1181 | 2279 | 2266 | 2010 |
| 16×176                    | 808  | 755  | 681  | 2291 | 2299 | 2299 | 1191 | 2299 | 2286 | 2029 |
| 16×178                    | 808  | 755  | 681  | 2311 | 2319 | 2319 | 1201 | 2319 | 2306 | 2048 |
| 16×180                    | 808  | 755  | 681  | 2331 | 2339 | 2339 | 1211 | 2339 | 2326 | 2067 |
| 16×182                    | 808  | 755  | 681  | 2351 | 2359 | 2359 | 1221 | 2359 | 2346 | 2086 |
| 16×184                    | 808  | 755  | 681  | 2371 | 2379 | 2379 | 1231 | 2379 | 2366 | 2105 |
| 16×186                    | 808  | 755  | 681  | 2391 | 2399 | 2399 | 1241 | 2399 | 2386 | 2124 |
| 16×188                    | 808  | 755  | 681  | 2411 | 2419 | 2419 | 1251 | 2419 | 2406 | 2143 |
| 16×190                    | 808  | 755  | 681  | 2431 | 2439 | 2439 | 1261 | 2439 | 2426 | 2162 |
| 16×192                    | 808  | 755  | 681  | 2451 | 2459 | 2459 | 1271 | 2459 | 2446 | 2181 |
| 16×194                    | 808  | 755  | 681  | 2471 | 2479 | 2479 | 1281 | 2479 | 2466 | 2200 |
| 16×196                    | 808  | 755  | 681  | 2491 | 2499 | 2499 | 1291 | 2499 | 2486 | 2219 |
| 16×198                    | 808  | 755  | 681  | 2511 | 2519 | 2519 | 1301 | 2519 | 2506 | 2238 |
| 16×200                    | 808  | 755  | 681  | 2531 | 2539 | 2539 | 1311 | 2539 | 2526 | 2257 |
| 16×202                    | 808  | 755  | 681  | 2551 | 2559 | 2559 | 1321 | 2559 | 2546 | 2276 |
| 16×204                    | 808  | 755  | 681  |      |      |      |      |      |      |      |

Допускаемые погонные нагрузки (без собственного веса балок)  $[n_{\mu}] = 100 \text{ кг/см}^2$ ,  $E = 10^6 \text{ кг/см}^2$  и  $\frac{l}{I} = \frac{1}{400}$

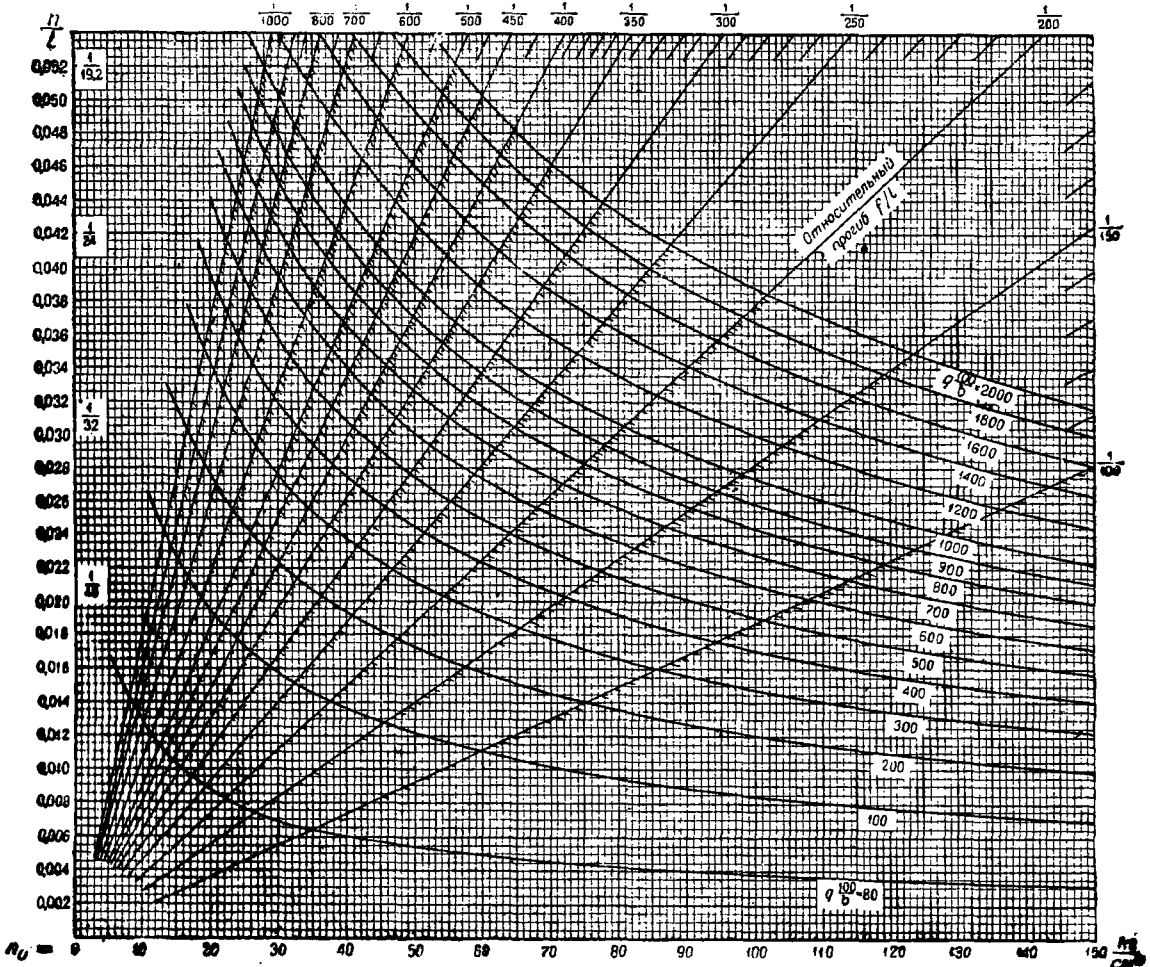
| l в м<br>b x h | 4,40   |     | 4,50 |     | 4,60 |     | 4,80 |     | 5,00 |     | 5,20 |     | 5,40 |     | 5,50 |     | 5,60 |     | 5,80 |     | 6,00 |     |     |  |
|----------------|--------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|--|
|                | 3,5x16 |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |     |  |
| 4x16           |        |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |     |  |
| 3,5x18         | 75     |     | 72   |     | 69   |     | 71   |     | 74   |     | 75   |     | 77   |     | 74   |     | 79   |     | 58   |     | 82   |     | 82  |  |
| 4x18           | 85     |     | 81   |     | 78   |     | 79   |     | 81   |     | 84   |     | 83   |     | 82   |     | 85   |     | 90   |     | 96   |     | 84  |  |
| 4,5x18         | 97     |     | 92   |     | 88   |     | 89   |     | 91   |     | 93   |     | 90   |     | 99   |     | 95   |     | 103  |     | 108  |     | 100 |  |
| 5x18           | 107    | 50  | 102  |     | 97   |     | 99   |     | 98   |     | 103  |     | 103  |     | 116  |     | 111  |     | 127  |     | 138  |     | 137 |  |
| 4,5x20         | 119    | 63  | 114  | 58  | 109  | 54  | 107  | 52  | 101  | 54  | 111  | 55  | 106  | 59  | 101  | 59  | 111  | 60  | 126  | 58  | 137  |     | 137 |  |
| 6x18           | 128    | 60  | 122  | 56  | 117  | 52  | 106  | 50  | 101  | 52  | 103  | 55  | 103  | 58  | 101  | 54  | 111  | 60  | 126  | 58  | 137  |     | 137 |  |
| 5x20           | 132    | 69  | 126  | 64  | 120  | 60  | 110  | 58  | 101  | 52  | 103  | 55  | 103  | 58  | 101  | 54  | 111  | 60  | 126  | 58  | 137  |     | 137 |  |
| 6x20           | 158    | 83  | 151  | 77  | 144  | 72  | 132  | 62  | 121  | 54  | 111  | 55  | 103  | 58  | 101  | 54  | 111  | 60  | 126  | 58  | 137  |     | 137 |  |
| 5x22           | 161    | 94  | 153  | 87  | 146  | 82  | 134  | 71  | 123  | 62  | 113  | 55  | 106  | 59  | 101  | 54  | 111  | 60  | 126  | 58  | 137  |     | 137 |  |
| 7x20           | 185    | 97  | 177  | 91  | 169  | 84  | 154  | 73  | 141  | 64  | 130  | 56  | 120  | 63  | 116  | 59  | 111  | 60  | 126  | 58  | 137  |     | 137 |  |
| 5x24           | 193    | 123 | 183  | 115 | 175  | 107 | 160  | 93  | 147  | 81  | 135  | 72  | 125  | 63  | 120  | 59  | 111  | 60  | 126  | 58  | 137  |     | 137 |  |
| 6x22           | 198    | 113 | 184  | 105 | 170  | 98  | 161  | 85  | 149  | 75  | 136  | 67  | 126  | 54  | 121  | 54  | 111  | 60  | 126  | 58  | 137  |     | 137 |  |
| 8x20           | 211    | 111 | 202  | 101 | 193  | 97  | 176  | 84  | 162  | 73  | 149  | 64  | 137  | 56  | 132  | 54  | 111  | 60  | 126  | 58  | 137  |     | 137 |  |
| 7x22           | 228    | 132 | 215  | 123 | 206  | 115 | 188  | 100 | 173  | 87  | 159  | 77  | 147  | 69  | 142  | 64  | 136  | 60  | 126  | 58  | 137  |     | 137 |  |
| 6x24           | 231    | 147 | 220  | 138 | 210  | 129 | 192  | 112 | 176  | 98  | 162  | 86  | 150  | 76  | 145  | 72  | 139  | 68  | 129  | 60  | 120  | 54  | 137 |  |
| 9x20           | 238    | 125 | 227  | 117 | 217  | 109 | 198  | 94  | 182  | 82  | 163  | 72  | 155  | 63  | 149  | 59  | 143  | 56  | 133  | 53  | 123  |     | 137 |  |
| 6x25           | 251    | 168 | 249  | 157 | 229  | 147 | 209  | 128 | 192  | 112 | 177  | 99  | 164  | 87  | 158  | 82  | 152  | 78  | 141  | 69  | 131  |     | 137 |  |
| 8x22           | 257    | 150 | 245  | 140 | 234  | 131 | 214  | 113 | 195  | 99  | 181  | 87  | 167  | 77  | 161  | 72  | 165  | 68  | 143  | 60  | 133  |     | 137 |  |
| 10x20          | 265    | 139 | 253  | 130 | 241  | 121 | 221  | 105 | 203  | 91  | 186  | 80  | 172  | 70  | 166  | 66  | 159  | 62  | 147  | 54  | 137  |     | 137 |  |
| 7x24           | 269    | 172 | 257  | 161 | 245  | 151 | 224  | 131 | 206  | 116 | 190  | 101 | 175  | 89  | 169  | 84  | 162  | 80  | 151  | 70  | 140  |     | 137 |  |
| 6x26           | 271    | 189 | 258  | 177 | 247  | 165 | 226  | 144 | 207  | 126 | 191  | 111 | 176  | 98  | 170  | 92  | 144  | 88  | 153  | 77  | 141  |     | 137 |  |
| 9x22           | 289    | 169 | 276  | 178 | 264  | 147 | 241  | 128 | 221  | 112 | 204  | 93  | 188  | 87  | 181  | 81  | 174  | 77  | 161  | 68  | 150  |     | 137 |  |
| 7x25           | 292    | 195 | 278  | 182 | 266  | 171 | 243  | 148 | 223  | 130 | 206  | 115 | 190  | 101 | 183  | 95  | 176  | 90  | 163  | 80  | 152  |     | 137 |  |
| 8x24           | 308    | 197 | 294  | 185 | 281  | 173 | 257  | 150 | 236  | 132 | 217  | 116 | 201  | 103 | 193  | 96  | 196  | 91  | 172  | 81  | 161  |     | 137 |  |
| 7x26           | 317    | 221 | 302  | 207 | 289  | 193 | 264  | 168 | 243  | 147 | 224  | 130 | 207  | 115 | 199  | 103 | 191  | 103 | 177  | 81  | 165  |     | 137 |  |
| 12x20          | 318    | 167 | 303  | 156 | 290  | 146 | 265  | 126 | 248  | 110 | 224  | 96  | 207  | 85  | 199  | 79  | 191  | 75  | 177  | 66  | 165  |     | 137 |  |
| 10x22          | 322    | 188 | 307  | 175 | 293  | 164 | 268  | 142 | 246  | 124 | 227  | 109 | 209  | 96  | 202  | 90  | 194  | 85  | 180  | 75  | 167  |     | 137 |  |
| 8x25           | 325    | 224 | 319  | 210 | 306  | 195 | 279  | 171 | 257  | 150 | 237  | 132 | 219  | 117 | 211  | 110 | 203  | 104 | 188  | 92  | 175  |     | 137 |  |
| 9x24           | 345    | 221 | 330  | 207 | 316  | 193 | 283  | 168 | 264  | 147 | 244  | 130 | 225  | 115 | 217  | 107 | 209  | 102 | 193  | 90  | 180  |     | 137 |  |
| 13x20          | 345    | 181 | 329  | 189 | 314  | 158 | 287  | 136 | 263  | 119 | 243  | 104 | 224  | 92  | 216  | 86  | 207  | 81  | 192  | 71  | 179  |     | 137 |  |
| 8x26           | 362    | 253 | 345  | 286 | 331  | 221 | 302  | 192 | 277  | 169 | 256  | 149 | 236  | 132 | 228  | 124 | 219  | 118 | 203  | 104 | 189  |     | 137 |  |
| 9x25           | 376    | 252 | 358  | 236 | 342  | 220 | 313  | 191 | 288  | 168 | 265  | 148 | 245  | 131 | 236  | 123 | 227  | 117 | 211  | 103 | 196  |     | 137 |  |
| 10x24          | 384    | 246 | 366  | 230 | 350  | 215 | 320  | 187 | 294  | 164 | 271  | 144 | 250  | 128 | 241  | 119 | 234  | 113 | 215  | 100 | 201  |     | 137 |  |
| 12x22          | 386    | 236 | 369  | 211 | 352  | 197 | 322  | 171 | 293  | 150 | 273  | 132 | 252  | 116 | 242  | 109 | 233  | 108 | 216  | 91  | 201  |     | 137 |  |
| 9x28           | 407    | 284 | 387  | 265 | 371  | 248 | 339  | 216 | 311  | 189 | 287  | 167 | 264  | 148 | 255  | 139 | 246  | 132 | 228  | 117 | 213  |     | 137 |  |
| 10x25          | 417    | 279 | 397  | 261 | 380  | 244 | 347  | 212 | 319  | 186 | 294  | 164 | 272  | 145 | 262  | 136 | 252  | 129 | 233  | 114 | 218  |     | 137 |  |
| 13x22          | 418    | 244 | 399  | 228 | 381  | 213 | 348  | 184 | 320  | 161 | 295  | 142 | 272  | 125 | 262  | 117 | 252  | 111 | 233  | 97  | 217  |     | 137 |  |
| 10x26          | 452    | 316 | 431  | 295 | 412  | 278 | 377  | 240 | 346  | 211 | 320  | 186 | 295  | 165 | 284  | 155 | 274  | 147 | 254  | 130 | 237  |     | 137 |  |
| 14x22          | 450    | 268 | 430  | 245 | 411  | 229 | 375  | 199 | 345  | 174 | 317  | 153 | 293  | 135 | 282  | 128 | 271  | 119 | 251  | 105 | 234  |     | 137 |  |
| 12x24          | 461    | 295 | 439  | 276 | 420  | 258 | 384  | 224 | 363  | 196 | 325  | 173 | 300  | 163 | 289  | 143 | 278  | 136 | 258  | 120 | 240  |     | 137 |  |
| 13x24          | 499    | 320 | 476  | 314 | 455  | 280 | 416  | 243 | 392  | 213 | 352  | 188 | 325  | 176 | 313  | 156 | 301  | 147 | 280  | 130 | 261  |     | 137 |  |
| 12x25          | 501    | 336 | 478  | 314 | 457  | 284 | 418  | 243 | 394  | 224 | 354  | 198 | 327  | 185 | 315  | 164 | 303  | 155 | 281  | 138 | 262  |     | 137 |  |
| 16x22          | 515    | 300 | 491  | 281 | 469  | 261 | 429  | 227 | 394  | 199 | 363  | 175 | 335  | 164 | 323  | 145 | 310  | 137 | 288  | 121 | 268  |     | 137 |  |
| 14x24          | 538    | 345 | 518  | 323 | 492  | 302 | 449  | 262 | 412  | 230 | 380  | 202 | 351  | 179 | 338  | 168 | 325  | 159 | 301  | 141 | 281  |     | 137 |  |
| 12x26          | 544    | 378 | 518  | 354 | 495  | 331 | 453  | 288 | 410  | 253 | 386  | 223 | 354  | 198 | 341  | 184 | 328  | 175 | 304  | 155 | 284  |     | 137 |  |
| 13x25          | 543    | 363 | 517  | 340 | 496  | 317 | 452  | 286 | 415  | 242 | 383  | 213 | 354  | 189 | 341  | 177 | 328  | 168 | 304  | 148 | 283  |     | 137 |  |
| 14x25          | 583    | 391 | 556  | 366 | 532  | 342 | 488  | 297 | 448  | 261 | 413  | 230 | 381  | 201 | 367  | 191 | 353  | 181 | 327  | 160 | 305  |     | 137 |  |
| 13x26          | 587    | 409 | 560  | 383 | 536  | 368 | 490  | 311 | 450  | 273 | 415  | 241 | 384  | 214 | 389  | 200 | 355  | 190 | 329  | 168 | 307  |     | 137 |  |
| 16x24          | 614    | 394 | 585  | 398 | 560  | 344 | 512  | 299 | 471  | 262 | 434  | 231 | 400  | 204 | 386  | 191 | 371  | 181 | 344  | 160 | 321  |     | 137 |  |
| 14x28          | 634    | 441 | 605  | 413 | 578  | 388 | 527  | 336 | 485  | 295 | 447  | 260 | 413  | 230 | 398  | 216 | 383  | 205 | 355  | 182 | 331  |     | 137 |  |
| 16x25          | 688    | 447 | 637  | 418 | 609  | 391 | 557  | 340 | 511  | 298 | 471  | 263 | 435  | 232 | 419  | 218 | 403  | 207 | 374  | 183 | 349  |     | 137 |  |
| 16x26          | 504    |     | 473  | 659 | 441  | 603 | 384  | 554 | 338  | 510 | 297  | 471 | 263  | 454 | 247  | 437 | 234  | 405 | 204  | 378 |      | 137 |     |  |

Таблица 26

Данные к экономическому сравнению деревянных балок из ребровых досок (по ценам для Москвы)

| № п/п | Сечения балок | Стоимость материала на 1 пог. м в руб. |                          | № п/п | Сечения балок | Стоимость материала на 1 пог. м в руб. |                          | № п/п | Сечения балок | Стоимость материала на 1 пог. м в руб. |                          | № п/п | Сечения балок | Стоимость материала на 1 пог. м в руб. |                          |
|-------|---------------|--|--------------------------|-------|---------------|--|--------------------------|-------|---------------|--|--------------------------|-------|---------------|--|--------------------------|
|       |               | целого сечения                         | составного из двух досок |       |               | целого сечения                         | составного из двух досок |       |               | целого сечения                         | составного из двух досок |       |               | целого сечения                         | составного из двух досок |
| 1     | 3,5×16        | 0,35                                   | —                        | 15    | 8×20          | 0,95                                   | 1,01                     | 29    | 10×22         | 1,50                                   | 1,39                     | 43    | 13×24         | 2,52                                   | 2,06                     |
| 2     | 4×16          | 0,37                                   | —                        | 16    | 7×22          | 1,22                                   | 1,03                     | 30    | 8×25          | 1,32                                   | 1,32                     | 44    | 12×25         | 2,43                                   | 1,98                     |
| 3     | 3,5×18        | 0,42                                   | —                        | 17    | 6×24          | 0,99                                   | —                        | 31    | 9×24          | 1,78                                   | 1,45                     | 45    | 16×22         | 3,40                                   | 2,64                     |
| 4     | 4×18          | 0,45                                   | —                        | 18    | 9×20          | 1,11                                   | 1,35                     | 32    | 13×20         | 1,77                                   | 1,64                     | 46    | 14×24         | 2,76                                   | 2,26                     |
| 5     | 4,5×18        | 0,51                                   | —                        | 19    | 6×25          | 1,36                                   | —                        | 33    | 8×26          | 1,39                                   | 1,39                     | 47    | 12×26         | 2,51                                   | 2,05                     |
| 6     | 5×18          | 0,56                                   | —                        | 20    | 8×22          | 1,11                                   | 1,11                     | 34    | 9×25          | 1,87                                   | 1,52                     | 48    | 13×25         | 2,67                                   | 2,18                     |
| 7     | 4,5×20        | 0,57                                   | —                        | 21    | 10×20         | 1,08                                   | 1,26                     | 35    | 10×24         | 1,95                                   | 1,58                     | 49    | 14×25         | 2,87                                   | 2,34                     |
| 8     | 6×18          | 0,63                                   | —                        | 22    | 7×24          | 1,35                                   | 1,18                     | 36    | 12×22         | 1,64                                   | 1,64                     | 50    | 13×26         | 2,75                                   | 2,31                     |
| 9     | 5×20          | 0,68                                   | —                        | 23    | 6×26          | 1,16                                   | —                        | 37    | 9×26          | 1,86                                   | 1,64                     | 51    | 16×24         | 3,08                                   | 2,50                     |
| 10    | 6×20          | 0,76                                   | —                        | 24    | 9×22          | 1,27                                   | 1,25                     | 38    | 10×25         | 2,02                                   | 1,65                     | 52    | 14×26         | 2,92                                   | 2,38                     |
| 11    | 5×22          | 0,69                                   | —                        | 25    | 7×25          | 1,20                                   | 1,22                     | 39    | 13×22         | 1,97                                   | 1,83                     | 53    | 16×25         | 3,24                                   | 2,64                     |
| 12    | 7×20          | 0,88                                   | 0,94                     | 26    | 8×24          | 1,27                                   | 1,27                     | 40    | 10×26         | 2,11                                   | 1,65                     | 54    | 16×26         | 3,41                                   | 2,77                     |
| 13    | 5×24          | 1,01                                   | —                        | 27    | 7×26          | 1,20                                   | 1,27                     | 41    | 14×22         | 2,52                                   | 1,95                     |       |               |  |                          |
| 14    | 6×22          | 0,97                                   | —                        | 28    | 12×20         | 1,63                                   | 1,51                     | 42    | 12×24         | 2,35                                   | 1,91                     |       |               |  |                          |

2) Номограмма для расчета балок из брусев и досок пользоваться номограммами фиг. 6 и 7<sup>1</sup> и А, В, В (фиг. 8)<sup>2</sup>.  
 При расчете балок из брусев и досок можно Номограммы составлены для балок, свободно

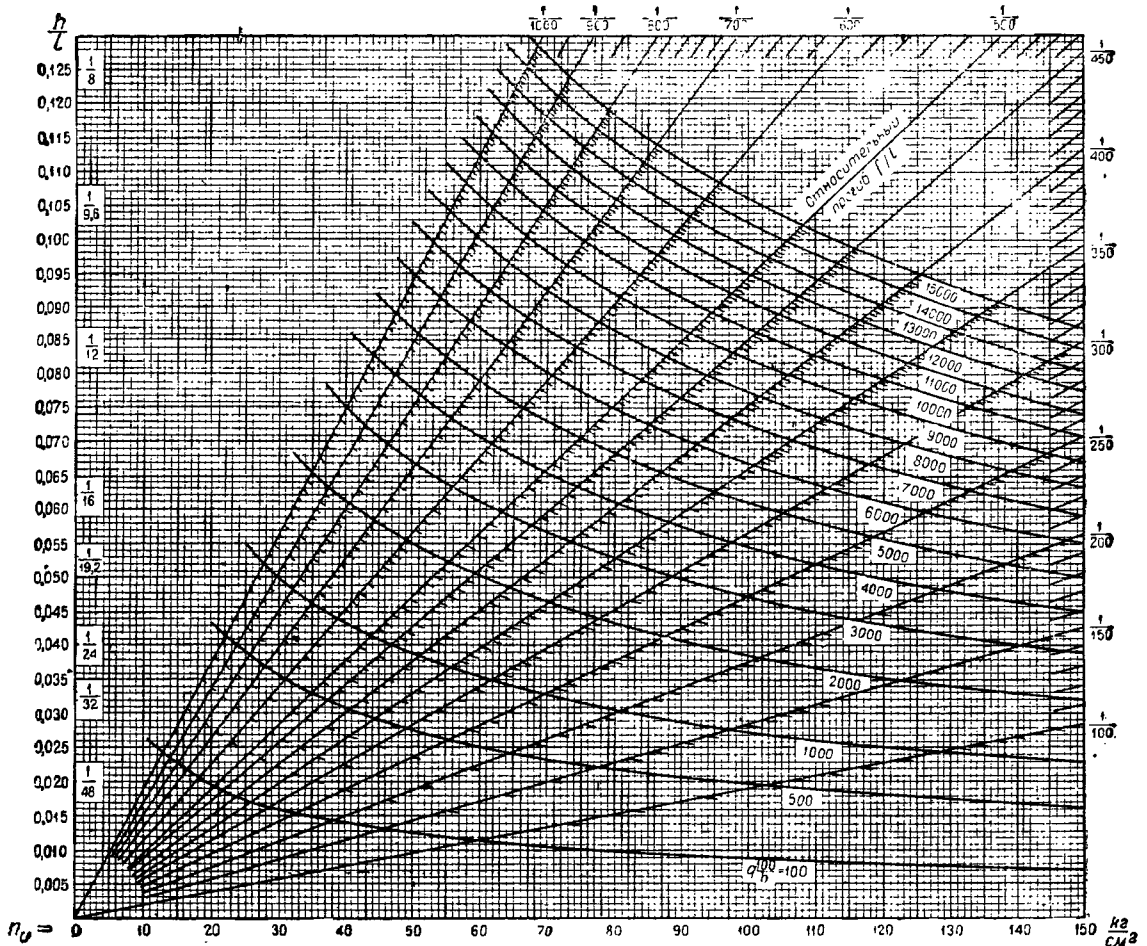


Фиг. 6. Номограмма для расчета настилов и балок малой высоты

<sup>2</sup> Составлены инж. Писичковым В. Г.

лежащих на двух опорах и нагруженных равномерно распределенной нагрузкой при  $E = 110\,000 \text{ кг/см}^2$  (см. примеры 8, 9, 10). Для другого значения  $E$  необходимо относительный прогиб  $\frac{f}{l}$  умножить на поправочный коэффициент  $k = \frac{E}{110\,000}$ . При пользовании номограммами для иных ра-

По номограмме фиг. 6 для  $q \cdot \frac{100}{b} = 250 \times \times \frac{100}{100} = 250 \text{ кг/м}$  и  $\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{300}$  находим:  
 $n_u = 38,8 \text{ кг/см}^2$ ;  $\frac{h}{l} = 0,0219$ ;  
 $h = 0,0219 \cdot 200 = 4,38 \text{ см.}$



Фиг. 7. Номограмма для расчета балок

бочих схем поперечного изгиба значение  $q$  заменяется соответствующими эквивалентными нагрузками  $q_n$  и  $q_f$ .

Номограмма фиг. 6 служит главным образом для расчета настилов и балок малой относительной высоты с небольшой погонной нагрузкой.

Номограмма фиг. 7 применяется для расчета прогонов и балок большой относительной высоты со значительной погонной нагрузкой.

**Пример 8.** Требуется рассчитать настил пролетом  $l = 2,00 \text{ м}$ . Дано:  $q = 250 \text{ кг/м}^2$ ;  $\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{300}$ .

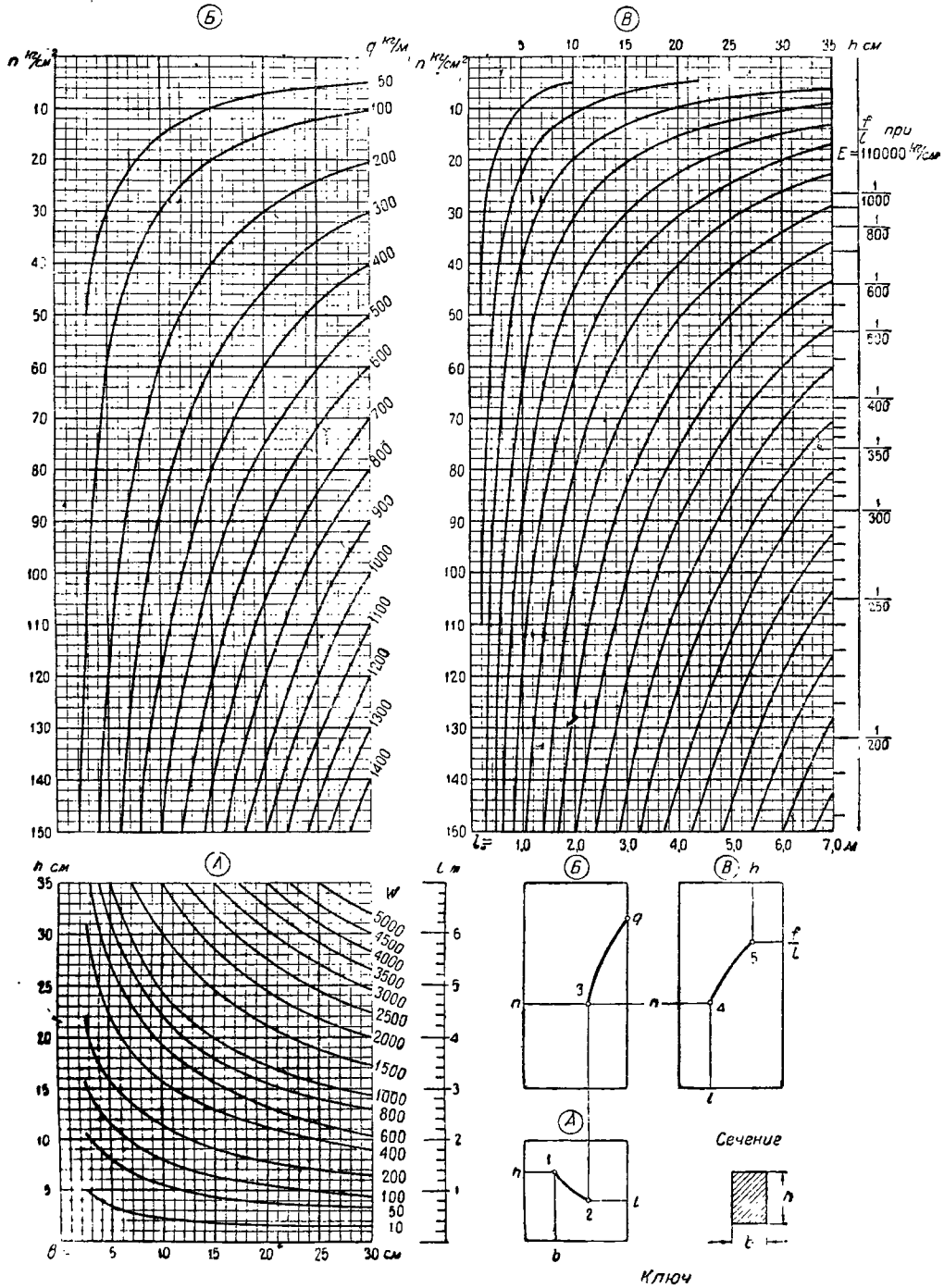
Назначаем  $h = 4,5 \text{ см}$ ; для  $\frac{h}{l} = \frac{4,5}{200} = 0,0225$  и  $q = 250 \text{ кг/м}$  по номограмме фиг. 6 находим  $\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{320}$  и  $n_u = 37 \text{ кг/см}^2$ .

**Пример 9.** Требуется рассчитать прогон пролетом  $l = 3,00 \text{ м}$ . Дано:  $q = 500 \text{ кг/м}$ ;  $\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{350}$ ;  
 $[n_u] = 110 \text{ кг/см}^2$ .

По номограмме фиг. 7 для  $\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{350}$  и  $[n_u] = 110 \text{ кг/см}^2$  находим:

$$q \frac{100}{b} = 7\,800 \text{ кг/м} \text{ и } \frac{h}{l} = 0,0728,$$

<sup>1</sup> Величины эквивалентных нагрузок  $q_n$  и  $q_f$  — см. график фиг. 2 и 3, а также «Изгиб», табл. 2.



Фиг. 8 Номограмма для расчета балок



откуда:

$$b = \frac{500 \cdot 100}{7800} = 6,4 \text{ см};$$

$$h = 0,0728 \cdot 300 = 21,84 \text{ см}.$$

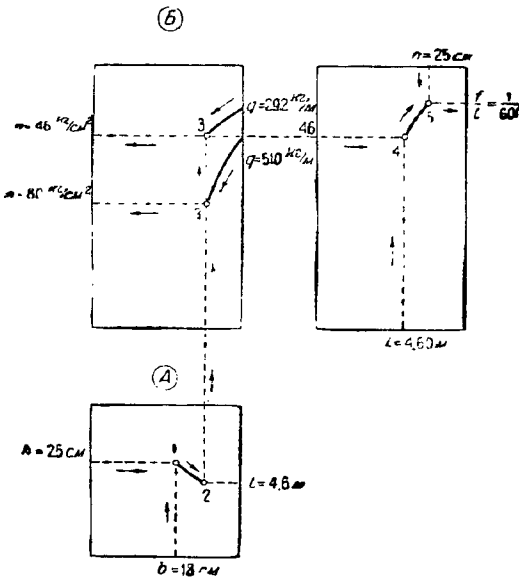
Назначаем сечение прогона  $7 \times 22 \text{ см}$ , для которого

$$\frac{h}{l} = \frac{22}{300} = 0,0732 \text{ и } q = \frac{100}{b} = 500 \frac{100}{7} = 7140 \text{ кг/м}.$$

По номограмме фиг. 7 находим:

$$n_u = 103,5 \text{ кг/см}^2;$$

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{375}.$$



Фиг. 9

**Пример 10.** Требуется рассчитать балочно-консольный прогон пролетом  $l = 5,00 \text{ м}$ . Дано:

$$q = 100 \text{ кг/см}^2; \quad h = 14 \text{ см};$$

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{250}; \quad [n_u] = 110 \text{ кг/см}^2.$$

По номограмме фиг. 6 для  $\frac{h}{l} = \frac{14}{500} = 0,028$  и  $[n_u] = 110 \text{ кг/см}^2$  находим:

$$\left(\frac{f_{\max}}{l}\right)_{\text{прис}} = \frac{1}{133},$$

откуда:

$$\frac{\left(\frac{f_{\max}}{l}\right)_{\text{прис}}}{\frac{f_{\max}}{l}} = \frac{\frac{1}{133}}{\frac{1}{250}} = \frac{250}{133} = 1,88.$$

Выбираем балочно-консольную схему с  $x = 0,47l$ , для которой  $\left(\frac{f_{\max}}{l}\right)_{\text{прис}} = 1,75 \left[\frac{f_{\max}}{l}\right] = 1,75 \frac{1}{250} = \frac{1}{143}$ ;  $(q_{\text{жс}})_{\text{ж}} = 0,564 \cdot 100 = 56,4 \text{ кг/м}$ .

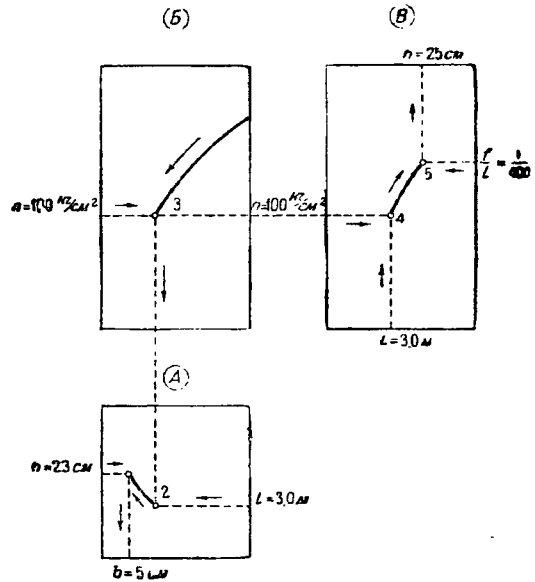
По номограмме 6 для  $\frac{h}{l} = 0,028$  и  $\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{143}$  находим:

$$n_u = 103 \text{ кг/см}^2; \quad (q_{\text{жс}})_{\text{ж}} \frac{100}{b} = 1080 \text{ кг/м},$$

откуда:

$$b = \frac{56,4 \cdot 100}{1080} = 5,2 \text{ см}.$$

**Пример 11.** Требуется проверить прогиб и напряжение прогона ендовы, запроектированного в виде неравнорной пятипролетной балки с пролетом  $l = 4,60 \text{ м}$ . Погонная нагрузка, расположенная равномерно,  $q = 600 \text{ кг/м}$ , сечение —  $25 \times 18 \text{ см}$ . Проверку производим по крайнему пролету, тогда по графикам фиг. 2 и 3 находим:  $q_{\text{ж}} = 0,85 \cdot 600 = 510 \text{ кг/пог. м}$ ,  $q_r = 0,49 \times 330 = 292 \text{ кг/пог. м}$ . По номограмме фиг. 8 получаем точку 1 пересечения ординат  $b =$



Фиг. 10

$= 18 \text{ см}$  и  $h = 25 \text{ см}$  (фиг. 9); из точки 1 проводим линию, параллельную кривой, до пересечения с горизонталью  $l = 4,60 \text{ м}$  в точке 2; далее проводим вертикаль до пересечения с кривой  $q_{\text{ж}} = 510 \text{ кг}$  ( $q_r = 292 \text{ кг/пог. м}$ ) в номограмме B в точке 3; на горизонтальной, соответствующей точке 3, получаем напряжение в прогоне  $n_u = 80 \text{ кг/см}^2$  ( $n_r = 46 \text{ кг/см}^2$ ). Прогиб определяем по номограмме B. Через точку 3, соответствующую напряжению  $46 \text{ кг/см}^2$ , проводим горизонталь до пересечения в точке 4 с вертикалью, соответствующей пролету  $l = 4,60 \text{ м}$ ; отсюда проводим линию, параллельную ближайшей кривой до пересечения в точке 5 с вертикалью  $h = 25 \text{ см}$ ; горизонталь, соответствующая точке 5, дает искомое  $\frac{f}{l} = \frac{1}{600}$ .

**Пример 12.** Требуется подобрать сечение прогона пролетом  $l = 3,00 \text{ м}$  под погонную нагрузку  $q = 400 \text{ кг/м}$  при  $[n] = 100 \text{ кг/см}^2$  и  $\frac{f}{l} = \frac{1}{400}$ .

По номограмме B фиг. 8 находим точку 4 (фиг. 10) пересечения ординат  $n = 100 \text{ кг/см}^2$  и  $l = 3,00 \text{ м}$ ; из этой точки проводим кривую до пересечения в точке 5 с горизонталью  $\frac{f}{l} = \frac{1}{400}$ ; на вертикали через точку 5 находим иско-

мую высоту прогона  $h = 23$  см. Для нахождения ширины прогона  $b$  переходим к номограммам  $B$  и  $A$ . По номограмме  $B$  находим точку 3 пересечения кривой  $q = 400$  кг/м с горизонталью  $l = 100$  кг/см<sup>2</sup>; через точку 3 проводим вертикаль в номограмму  $A$  до пересечения в точке 2 с горизонталью  $l = 3,00$  м, далее проводим кривую до пересечения в точке 1 с горизонталью  $h = 23$  см, на вертикали, соответствующей точке 1, получаем  $b = 5$  см.

ЛИТЕРАТУРА

1. Залепугин, Новый метод расчета моментов инерции различных профилей сечений Бревна, ОНТИ, Госстройиздат, 1933 г.
2. Иннорс, Проект стандарта, Междуэтажные и чердачные перекрытия по деревянным балкам, изд. «Стандартизация и рационализация», Москва 1932 г.
3. Иннорс, Деревянные конструкции и сооружения, ту и Н проектирования и возведения, Госстройиздат, 1933 г.
4. Междуэтажные перекрытия, Стандарт ПСП, 1934 г.
5. Номограммы для расчета деревянных балок. Стандарт ПСП.

Инж. П. П. НИКОЛАЕВ

II. ДЕРЕВОПЛИТА

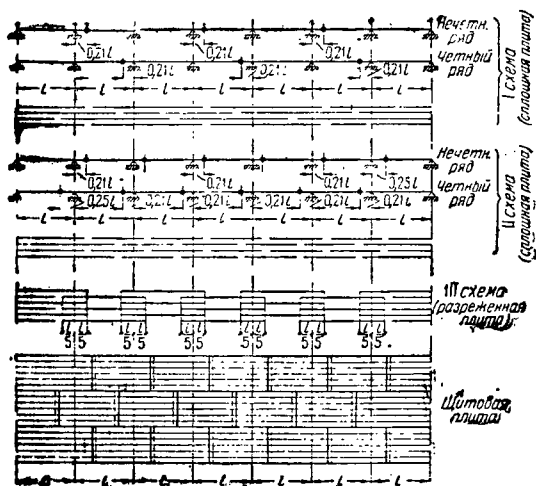
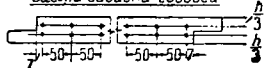
1. Общая характеристика

Деревоплита представляет собой сплошной безреберный настил из досок (брусков) на ребро, сбитых между собой гвоздями или соединенных деревянными нагелями (фиг. 1 и 2).



Фиг. 1. Поперечное сечение деревоплиты

Схема забивки гвоздей



Фиг. 2. Детали конструкции деревоплиты

Благодаря массивности и малой площади соприкосновения с воздухом деревоплита хорошо сопротивляется действию огня и относится к так называемым «медленно горящим» конструкциям, что ставит ее в пожарном отношении на первое место среди других типов деревянных перекрытий.

При сплачивании досок на ребро удачно используется ценное свойство дерева — его малая теплопроводность, — благодаря чему обычно

уже не приходится прибегать к дополнительной термоизоляции перекрытия.

Обладая достаточной жесткостью и прочностью, деревоплита имеет в то же время сравнительно незначительную толщину, что снижает бесполезную высоту здания, а следовательно его стоимость и кубатуру.

Изготовление деревоплиты крайне несложно и не требует крупных, дорогих сортов материалов.

2. Конструкция

Деревоплита может быть сплошной, разреженной или в виде отдельных сборных щитов (фиг. 1 и 2). В зависимости от пролетов и наличного лесоматериала конструктивная схема ее принимается в виде свободно опертой неразрезной или консольной плиты. Для перекрытия пролетов, превышающих длину имеющегося лесоматериала, деревоплиту можно конструировать по схемам, изображенным на фиг. 3 и 4, из отдельных досок или сборными из готовых щитов; в первом случае бруски стыкуются прямым прирубом впритык, а во втором случае косым прирубом с заложением, равным двойной высоте плиты.

Древесину для деревоплиты рекомендуется, как правило, применять воздушно-сухую или полусухую (с влажностью до 23%), вполне здоровую и по возможности машинной распиловки. Машинная распиловка дает бруски (доски) одинаковой высоты (что с трудом достигается при кустарной распиловке на циркулярной пиле), благодаря чему плита, набранная из этих брусков, не требует ни застройки, ни дополнительного выправления косым защитным настилом.

Нашивка косого настила по деревоплите обязательна лишь для тех покрытий и перекрытий, которые должны служить диафрагмой, обеспечивающей общую продольную жесткость сооружения.

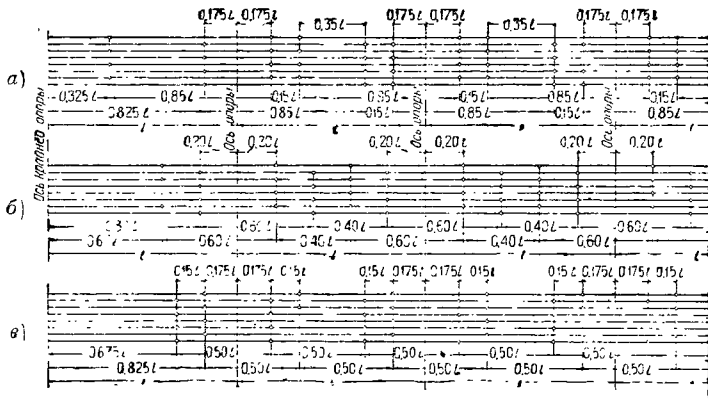
Гвозди для соединения брусков деревоплиты обычно ставятся не длиннее двойной толщины брусков. При обычной толщине брусков 4—5 см применяются гвозди длиной 70—80 мм. Гвозди размещаются по длине пролета в шахмат через 400—500 мм. Концы брусков обязательно пришиваются двумя гвоздями, что дает по одному срезу на каждый шов.

Для схем, изображенных на фиг. 3 и 4, гвозди у конца брусков следует проверять на попереч-

Схема I. Перекрытие пролета I при длине досок 0,851 и 0,191

Схема II. Перекрытие пролета I при длине досок 0,601 и 0,401

Схема III. Перекрытие пролета I при длине досок 0,51



Фиг. 3. Схемы решения деревяннаты при пролетах больше существующего сортамента

Пример сплошного настила  $l = 8,00$  м из отдельных досок длиной 4,00 м.  
Схема расположения стыков

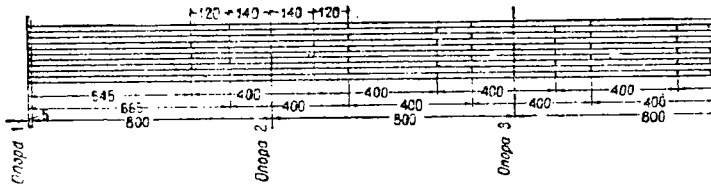
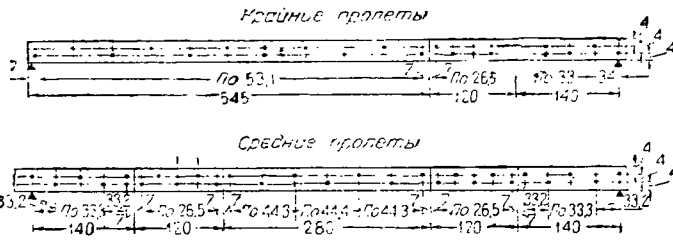


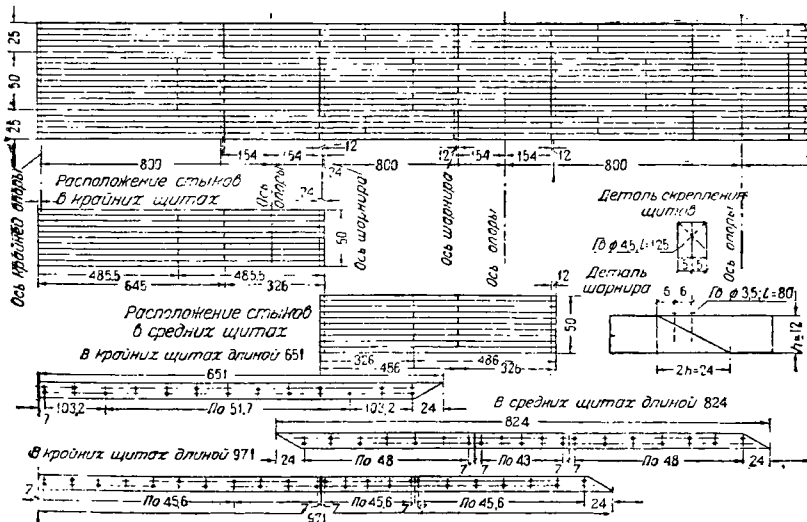
Схема размещения гвоздей  $\tau = 3,5$  мм,  $l = 80$  м



Расход гвоздей  
0,348 кг/м<sup>2</sup>

Фиг. 3а. Сплотные настилы из отдельных досок

Пример сплошного настила из щитов пролетом  $l = 8,00$  м (доски щитов длиной 0,80 л, сечением  $5 \times 12$  см)



Фиг. 4. Детали щитовой деревяннаты

ную силу и изгибающий момент, приближенно исчисляемые следующим образом.

В вигзагообразном разрезе  $a-a$  по швам деревоплиты согласно фиг. 5 разрезанные гвоздевые соединения должны воспринять попереч-



Фиг. 5. Схема к расчету гвоздевого забоя

ную силу и изгибающий момент, исчисленные для сечения  $b-b$ , проведенного через середину участка  $x$ . Обозначая поперечную силу и момент, приходящиеся в сечении  $b-b$  на ширину одного бруска через  $Q_1$  и  $M_1$ , получим усилие в гвоздевом срезе у конца бруска:

$$T_{гв} = \frac{Q_1}{2} + \frac{M_1}{x - 30d}, \quad (1)$$

где  $d$  — диаметр гвоздя;  
 $x - 30d$  — расстояние между гвоздями (плечо пары).

В случае избыточной жесткости деревоплиты сборные щиты могут изготовляться из досок более коротких, чем длина щита, но каждый второй и третий брусок щита должен быть сквозным.



Фиг. 6. Усиление борта деревоплиты

В местах обрыва или перегиба кровли деревоплиты рекомендуется усилить бортом, образуемым путем увеличения сечения двух крайних брусков (фиг. 6).

### 3. Расчет

#### 1) Расчет деревоплиты в кровельных покрытиях

При назначении размеров деревоплиты руководствуются: для покрытий — статическим расчетом, для междуэтажных перекрытий помимо ста-

тического расчета проводится так называемый «динамический расчет» (см. ниже).

Статический расчет неразрезной деревоплиты кровли следует производить по крайнему пролету, допуская прогиб не более  $\frac{1}{300}$  пролета.

В табл. 1 приведена высота многопролетной деревоплиты в долях от пролета при сплошной равномерной нагрузке и различных прогибах крайних пролетов неразрезной балки.

Для расчета деревоплиты по прогибу кроме табл. 1 можно пользоваться номограммой фиг. 8<sup>1</sup>, составленной для однопролетных свободно опертых деревоплит с равномерной нагрузкой. Для расчета по номограмме неразрезных деревоплит необходимо определить эквивалентную нагрузку по графикам на стр. 129.

**Пример 1.** Требуется определить толщину неразрезной деревоплиты кровли при пролете  $l = 6,00$  м и полной нагрузке  $q = 200$  кг/м; допускается относительный прогиб:

$$\frac{f}{l} \leq \frac{1}{300}.$$

По данным  $\frac{f}{l}$  и  $q$  по табл. 1 определяем  $m = 1,60$ , тогда  $h = 1,60 \cdot 6,0 = 9,6$  см; принимаем  $h = 10,0$  см.

**Пример 2.** Требуется определить допускаемую снеговую нагрузку на крышу, выполненную в виде неразрезной деревоплиты толщиной  $h = 10,0$  см с рубероидной кровлей при  $l = 5,0$  м и  $\frac{f}{l} = \frac{1}{400}$ .

Имеем  $h = ml$ ;  $m = \frac{h}{l} = \frac{10,0}{5,0} = 2,0$ . По табл. 1 при данных  $\frac{f}{l}$  и  $m$  получаем  $q = 300$  кг/м. Собственный вес кровли  $g = 0,10 \cdot 550 + 5 = 60$  кг/м<sup>2</sup>. Следовательно допускаемая снеговая нагрузка:

$$p = 300 - 60 = 240 \text{ кг/м}^2.$$

**Пример 3.** Требуется определить толщину  $h$  однопролетной свободно лежащей деревоплиты при  $q = 200$  кг/м<sup>2</sup>,  $l = 6$  м,  $\frac{f}{l} = \frac{1}{300}$ .

Пользуясь номограммой фиг. 8, находим (фиг. 9) точку  $I$  пересечения ординат  $\frac{f}{l} = \frac{1}{300}$  и  $q = 200$  кг/м<sup>2</sup>, отсюда проводим луч до пересечения

Таблица 1

Значения коэффициента  $m$  для определения высоты деревоплиты



Фиг. 7. Схема деревоплиты

$h = ml$  при  $[n] = 99$  кг/см<sup>2</sup>,  $E = 100\,000$  кг/см<sup>2</sup>,  $l$  — пролет,  $q$  — полная нагрузка.

| $\frac{f}{l}$ | $q$ в кг/м <sup>2</sup> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | $\frac{f}{l}$ |       |
|---------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|-------|
|               | 50                      | 75   | 100  | 125  | 150  | 175  | 200  | 225  | 250  | 275  | 300  | 325  | 350  | 375  |               | 400   |
| 1/250         | 0,96                    | 1,10 | 1,1  | 1,31 | 1,39 | 1,45 | 1,52 | 1,59 | 1,64 | 1,69 | 1,74 | 1,79 | 1,83 | 1,97 | 1,97          | 1/250 |
| 1/300         | 1,01                    | 1,15 | 1,27 | 1,37 | 1,46 | 1,52 | 1,60 | 1,67 | 1,73 | 1,78 | 1,83 | 1,88 | 1,92 | 1,97 | 2,07          | 1/300 |
| 1/350         | 1,05                    | 1,17 | 1,29 | 1,39 | 1,49 | 1,55 | 1,63 | 1,70 | 1,75 | 1,8  | 1,86 | 1,91 | 1,95 | 2,00 | 2,10          | 1/350 |
| 1/400         | 1,10                    | 1,26 | 1,39 | 1,50 | 1,60 | 1,68 | 1,75 | 1,83 | 1,89 | 1,95 | 2,00 | 2,06 | 2,12 | 2,17 | 2,28          | 1/400 |

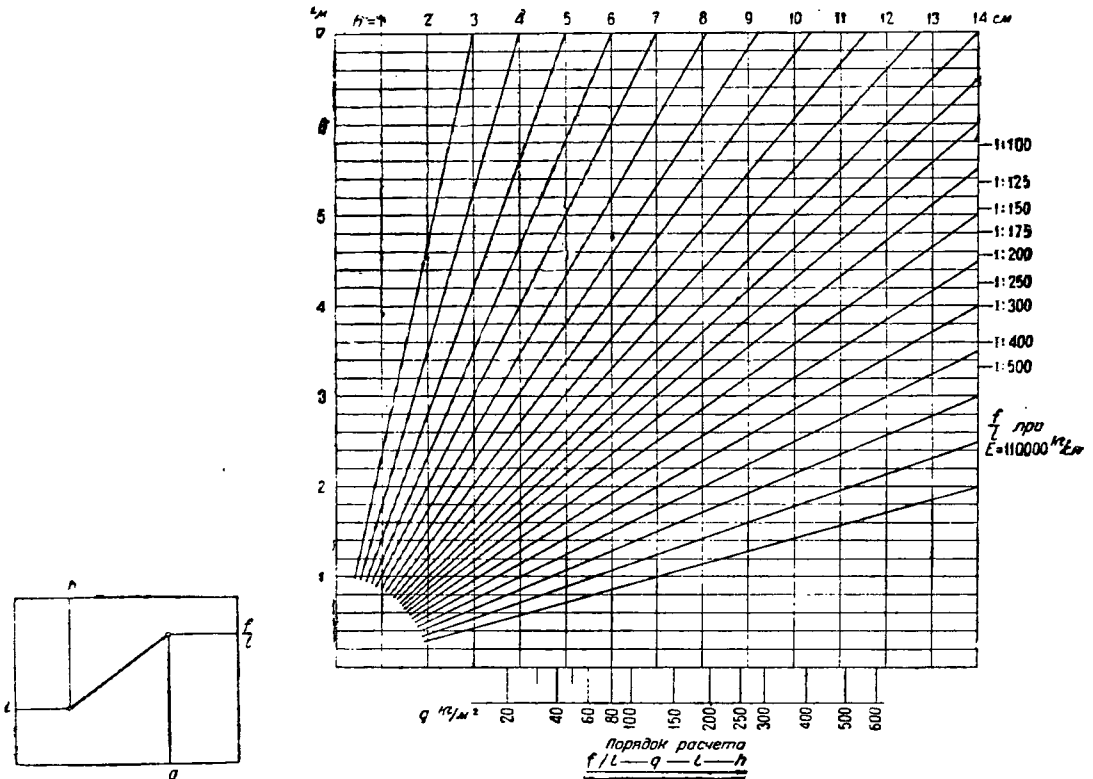
<sup>1</sup> Составлена инж. Иисичиковым В. Г.

чения с горизонталью  $l = 6,0$  м в точке 2; проведя далее через точку 2 вертикаль, получаем искомую толщину древесоплиты  $h = 12,0$  см.

Пример 4. Требуется определить прогиб при снеговой нагрузке  $p = 100$  кг/м<sup>2</sup> с учетом не-

$\frac{f}{l} = \frac{1}{125}$ . Вводя поправку на полусухую древесину, получим:

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{125} \cdot \frac{110\,000}{100\,000} = \frac{1}{103}$$

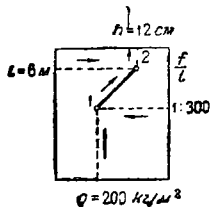


Фиг. 8. Номограмма для расчета древесоплиты и ключ к ней

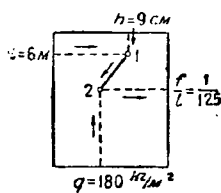
выгоднейшего расположения ее по пятипролетной неразрезной древесоплите из полусухой сосны. Дано:  $l = 6,0$  м;  $h = 9,0$  см;  $q = 100$  кг/см<sup>2</sup>. Рассчитываем плиту по крайнему пролету. Приведенная нагрузка по графику на стр. 129  $q = 0,90 \cdot 200 = 180$  кг/м<sup>2</sup>.

Пример 5. Требуется определить напряжение в древесоплите примера 3.

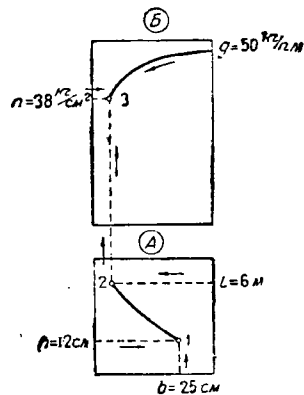
Пользуемся номограммами А и Б, помещенными на стр. 153. Ввиду того что в номограмме А



Фиг. 9. Схема расчета по номограмме к примеру 3



Фиг. 10. Схема расчета по номограмме к примеру 4



Фиг. 11. Схема расчета по номограмме к примеру 5

Далее пользуемся номограммой фиг. 8; найдем точку 1 (фиг. 10) пересечения горизонтали  $l = 6$  м с вертикалью  $h = 9$  см, проводим лучевую линию через точку 1 до пересечения в точке 2 с вертикалью  $q = 180$  кг/м<sup>2</sup>. Горизонталь, проведенная через точку 2, дает

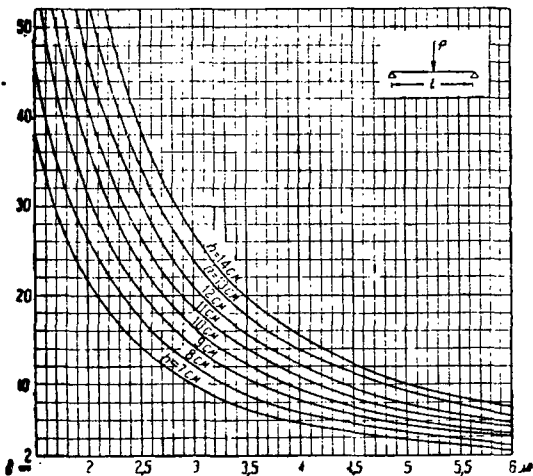
нет ширины  $b = 100$  см, приводим нагрузку к ширине  $b = 25$  см, для которой  $q = \frac{200 \cdot 25}{100} = 50$  кг/м. По номограмме А находим точку 1

(фиг. 11) пересечения горизонтали  $h = 12$  см с вертикалью  $b = 25$  см; из точки 1 проводим лучевую кривую до пересечения в точке 2 с горизонталью  $l = 6$  м; восстанавливаем из точки 2 вертикаль до пересечения в точке 3 на номограмме B с лучом  $q = 50$  кг/м; на уровне точки 3 читаем слева  $n = 38$  кг/см<sup>2</sup>.

**2) Расчет деревоплиты в междуэтажных перекрытиях<sup>1</sup>**

При проектировании деревоплиты для междуэтажных перекрытий требуется, как уже было указано выше, кроме статического расчета дополнительный динамический расчет, который сводится к следующему.

Высота деревоплиты должна быть такой, чтобы частота ее собственных колебаний была достаточно велика для предотвращения значительных колебаний при передвижении людей<sup>2</sup>. Экспериментальным путем было установлено, что допускаемую частоту собственных колебаний де-



Фиг. 12. График зависимости  $k, \sqrt{q}, l$  и  $h$  для свободно опертых плит

револиты (без чистого пола сверху и без штукатурки снизу) следует принять  $[k] = 9,5$  кол/сек. При устройстве перистого пола и штукатурки снизу можно принять  $[k] = 9$  кол/сек, а при устройстве ксилолитового (магнолитового) двухслойного пола и штукатурки снизу  $[k] = 8,5$  кол/сек.

Понижение допускаемой частоты колебаний при наличии пола и штукатурки объясняется значительным влиянием последних на распределение динамической нагрузки по ширине плиты. Поняду того что деревоплита работает главным образом в продольном направлении, ее следует рассматривать как балочную конструкцию.

Значение  $k$  в общем виде может быть определено по формуле:

$$k = \frac{m^2 \sqrt{g}}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{q}}, \quad (2)$$

<sup>1</sup> Составлено по материалам ЦНИПС, разработанным инж. М. Е. Каган.

<sup>2</sup> Приводимый метод расчета неприменим для перекрытий под машинами. В этом случае расчет следует проводить соответственно указаниям «теории колебаний».

где  $g$  — ускорение силы тяжести;

$l$  — пролет плиты;

$q$  — полная нагрузка (включая собственный вес плиты) на 1 пог. см при ширине 1 м;

$EI$  — жесткость плиты;

$m$  — коэффициент, зависящий от зашпелений концов плиты. Коэффициент  $m$  имеет значения:

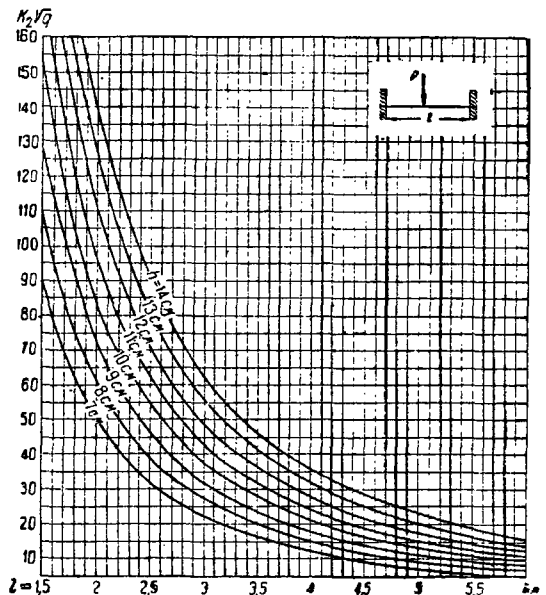
1) для свободно опертых плит  $m_0 = 3,14$ ;

2) для плит с одним зашпеленным концом  $m_1 = 3,93$ ;

3) для плит с двумя зашпеленными концами  $m_2 = 4,73$ .

При  $g = 9,81$  см/сек<sup>2</sup> и  $E = 110\,000$  кг/см<sup>2</sup> имеем:

$$k = 1\,660 \frac{m^2}{l^2} \sqrt{\frac{l}{q}}. \quad (3)$$



Фиг. 13. График зависимости  $k, \sqrt{q}, l$  и  $h$  для плит с заделанными концами

Зависимость между  $k, \sqrt{q}, l$  и  $h$  для свободно опертых плит дана на графике фиг. 12, а для плит с заделанными концами — на графике фиг. 13.

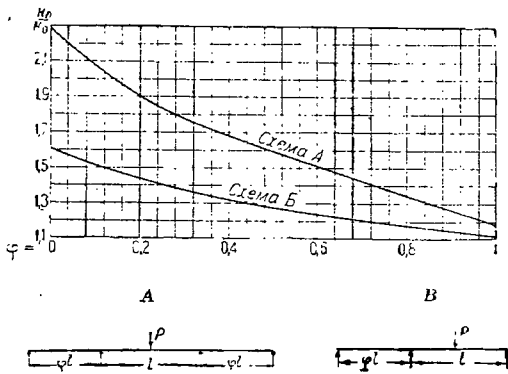
Зависимость между  $k_0$  — частотой собственных колебаний балки, свободно лежащей на двух опорах, и  $k$  — частотой колебания балок другого вида в зависимости от точки приложения колеблющей силы дана на графиках фиг. 14 и 15.

Многопролетные плиты с равными пролетами незначительно отличаются по своим динамическим свойствам от однопролетных плит, свободно опертых концами.

Если запроектированная деревоплита удовлетворительна в отношении допускаемых колебаний, то проверка статического прогиба, как правило, отпадает.

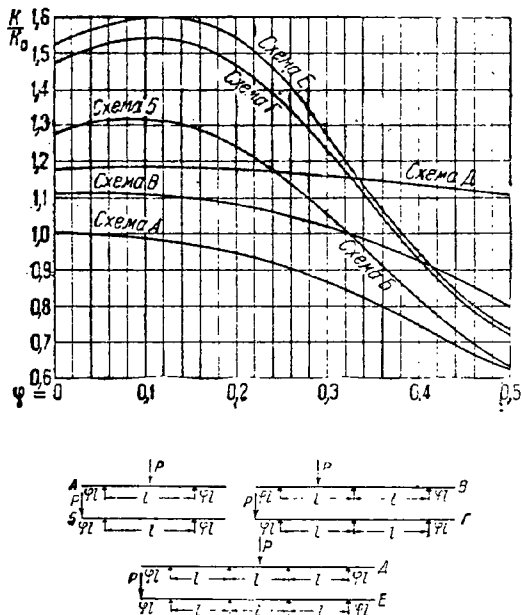
Пользуясь коэффициентами графиков фиг. 14 и 15, можно динамический расчет любой плиты привести к расчету свободно опертой плиты по графику фиг. 12.

**Пример 6.** Требуется определить необходимую толщину деревоплиты междуэтажного перекрытия с паркетным полом и штукатуркой по расчетной схеме фиг. 16 при  $q = 100 + 150 = 250 \text{ кг/м}^2$ .



$k_0$  — собственная частота колебаний балки, свободно лежащей на двух опорах;  
 $k$  — собственная частота колебаний рассчитываемой балки.  
 Загружение характеризуется величиной  $q$ .

Фиг. 14. График зависимости частоты колебаний от длины пролета



Фиг. 15. График влияния консолей на частоту колебаний

При  $\varphi = \frac{320}{400} = 0,80$  по графику фиг. 14 имеем:  
 $k_0 = \frac{k}{1,18}$ . Для паркетного пола  $[k] = 9 \text{ кол/сек}$ , следовательно  $k_0 = \frac{9}{1,18} = 7,6 \text{ кол/сек}$ . По графику фиг. 12 для  $k_0 = 7,6$ ;  $l = 4,00 \text{ м}$  и  $q = 2,5 \text{ кг/см}$ , имеем:

$$k_0 \sqrt{q} = 7,6 \sqrt{2,5} = 12 \text{ и } h = 12,0 \text{ см.}$$

**Пример 7.** Требуется определить толщину деревоплиты с ксилолитовым полом и загрузкой по схеме фиг. 17 при

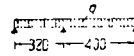
$$q = 150 + 200 = 350 \text{ кг/м}^2 = 3,5 \text{ кг/см.}$$

По графику фиг. 15 при  $\varphi = \frac{60}{200} = 0,2$  имеем:

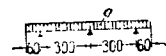
$$k_0 = \frac{8,5}{1,03} = 7,9, \quad k_0 \sqrt{q} = 7,9 \sqrt{3,5} = 14,8.$$

По графику фиг. 12 при  $l = 3,00 \text{ м}$  и  $k_0 \sqrt{q} = 14,8$  находим:

$$h = 10,0 \text{ см.}$$



Фиг. 16. Схема загрузки двухпролетной плиты к примеру 6



Фиг. 17. Схема двухпролетной плиты с двумя консолями к примеру 7

Однопролетные или неразрезные равнопролетные деревоплиты можно рассчитывать без помощи графиков, исходя из следующих соображений. Частота собственных колебаний балок будет по ф-ле (2):

$$k = 1660 \frac{m^2}{l} \sqrt{\frac{I}{q}};$$

выражая  $I$  через  $h$ , находим:

$$I = \frac{100h^3}{12} = 8,33h^3;$$

частота собственных колебаний свободно опертой плиты:

$$k_0 = 1660 \frac{3,14^2}{12} \sqrt{\frac{8,33h^3}{q}}$$

или

$$k_0^2 = 2248000000 \frac{h^4}{q^{1/2}} \quad (4)$$

и толщина деревоплиты:

$$h = \frac{l}{1310} \sqrt[3]{ql[k_0]^2}. \quad (5)$$

Распространяя ф-лу (5) на случай многопролетной плиты с равными пролетами, введем в нее коэффициент  $\alpha = \frac{k}{k_0}$ . Для однопролетной плиты  $\alpha = 1,00$ , для двухпролетной  $\alpha = 1,08$ , для трехпролетной  $\alpha = 1,19$ .

Ф-ла (5) принимает вид:

$$h = \frac{l}{1310} \sqrt[3]{\frac{ql[lk]^2}{\alpha^2}}. \quad (6)$$

где  $l$  — расчетный пролет в см;

$q \text{ кг/см}$  — полная нагрузка на 1 см при ширине плиты  $b = 100 \text{ см}$ ;

$[k] \text{ кол/сек}$  — частота собственных колебаний перекрытия;

$\alpha$  — коэффициент, зависящий от числа пролетов неразрезной плиты.

Ниже в качестве примера помещены таблицы полных допускаемых нагрузок для трехпролетной деревоплиты с равными пролетами  $l = 4 \text{ см}$ .

Табл. 2 составлена для деревоплиты со штукатуркой внизу под ксилолитовый (магнолитовый) чистый пол по ксилолитовому подполью; число колебаний  $k = 8,5 \text{ кол/сек}$ .

Таблица 2

Допускаемые нагрузки в кг/м<sup>2</sup> на деревоплиту под ксилолитовый (магнолитовый) пол

| $h$ в см<br>$l$ в м | 9,0 | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 13,0 | 14,0 |
|---------------------|-----|------|------|------|------|------|
| 4,00                | —   | 170  | 230  | 291  | 372  | 477  |

Табл. 3 составлена для деревоплиты со штукатуркой внизу под паркетный или плиточный чистый пол; число колебаний принято  $k = 9$  кол/сек.

Таблица 3

Допускаемые нагрузки в кг/м<sup>2</sup> на деревоплиту под паркетный или плиточный пол

| $h$ в см<br>$l$ в м | 9,0 | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 13,0 | 14,0 |
|---------------------|-----|------|------|------|------|------|
| 4,00                | —   | 155  | 200  | 256  | 326  | 417  |

#### 4. Защита от гниения

Для повышения сопротивляемости гниению деревоплиты из недостаточно сухой древесины

надлежит применять антисептики последующего действия, пропитку или суперобмазку.

Можно рекомендовать следующие способы антисептирования деревоплиты в зависимости от возможностей производства.

1. Лесоматериалы для деревоплиты погружаются на 15 мин. в ванну с 3%-ным раствором фтористого натрия (на 100 л воды 3 кг фтористого натрия). Ванны делаются деревянные из тщательно сфугованного леса с проконопачкой швов густой смолой или гудроном.

2. Деревоплита опрыскивается из гидروпульта или краскометов 4,5%-ным раствором фтористого натрия с добавкой окраски для контроля равномерности распределения антисептика.

3. На поверхность деревоплиты наносится ровным слоем суперобмазка, состав которой может быть следующий: 30% фтористого натрия (NaF), 60% экстракта сульфатных шелоков и 10% отщепителя (измельченный торфяной порошок, древесная мука и т. п.). Составные части антисептика нужно варить с водой до консистенции жидкой сметаны.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Каган М. Е., Безреберный настил, «Строительная промышленность» № 6, 1933 г., «Проект и стандарт» № 4—5, 1933 г.
- Писчиков В. Г., К вопросу о работе сплошных безреберных настилов, «Проект и стандарт» № 4—5, 1933 г.
- «Безреберный настил», Гослестпромстрой.

Инж. В. Г. ПИСЧИКОВ

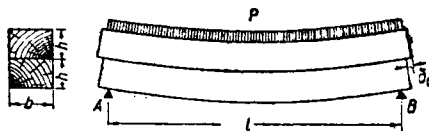
### III. КОНСТРУКТИВНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПОДЪЕМ

#### 1. Работа составных балок на податливых соединениях

Количество применяемых в строительстве конструктивных элементов типа составных балок довольно значительно. К составным балкам должны быть отнесены: сплошные коробчатые настилы из досок на гвоздях, составные прогоны из досок и брусьев на гвоздях, составные прогоны из брусьев на пластинчатых нагелях, двутавровые балки с перекрестной и фанерной стенкой и наконец ряд комбинированных конструкций, хотя и не являющихся составными балками, но родственных им по работе, как например тавровые бляны, шпренгельные балки, ряд подкрановых деревянных балок, мостовые фермы типа Лангера и т. д.

Общим признаком, характерным для всех этих конструкций, является комбинированность их работы. Анализируя работу составного из трех брусьев прогона на гвоздях, замечаем, что даже при полном отсутствии гвоздей прогон является несущей конструкцией, состоящей из трех отдельных балочек, между которыми нагрузка распределяется пропорционально их моментам инерции. Наличие гвоздевых соединений создает в верхней балочке преимущественно сжатие, в нижней — преимущественно растяжение, т. е. приближает их работу к работе поясов

фермы. Работа конструкции в целом получается таким образом комбинированной из работы на изгиб балок и фермы. В зависимости от мощности гвоздевых соединений в отношении напряжений и прогибов такая конструкция будет занимать то или иное промежуточное положение между системой из трех отдельных балочек и системой из одного монолитного бруса. Таким



Фиг. 1. Сдвиг в шве составной балки

образом здесь имеет место та же картина, что и в классических комбинированных системах, например в балке, усиленной шпренгелем, где нагрузка в зависимости от величины сечений, мощности и жесткости балочной и шпренгельной схем делится между ними в том или ином соотношении.

Проанализируем работу составной балки из двух одинаковых брусьев (высота каждого бруса равна  $h$ ) на податливых соединениях нагельного типа (фиг. 4).



Согласно § 197 и 204 ТУ и Н 1931 г. расчет такой балки при сплошной равномерной нагрузке  $q$  в случае отсутствия конструктивного строительного подъема представится в следующем виде.

Прежде всего определим сдвигающую силу в шве на половине пролета балки:

$$T = \frac{Q_A \cdot S}{I} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{ql}{2} \cdot \frac{bh^2}{2} \cdot \frac{3}{2bh^3} \cdot \frac{l}{4} = \frac{3ql^2}{32h}. \quad (1)$$

Если расчетное допускаемое усилие на один нагельный срез равно  $T_n$ , то необходимое количество  $m$  нагелей на полупролете балки определится по формуле:

$$m = \frac{2T}{T_n}. \quad (2)$$

Полученное число нагелей распределяется равномерно по всей длине полупролета, причем нагрузка на них меняется по линейному закону от нуля в середине пролета до расчетного  $T_n$  на обоих опорах.

Прогиб составной балки по смыслу § 197 ТУ и Н равняется:

$$f_n = \frac{5ql^4}{384EI} + \frac{\Sigma \delta l}{3e}, \quad (3)$$

где  $\delta$  — сдвиг в шве на опоре балки;  $e = h$ ;  
 $I = \frac{2}{3} bh^3$ .

Второй член правой части выражает дополнительный прогиб вследствие податливости нагелей. При этом сдвиг  $\delta$  обычно приравнивается сдвигу  $\delta_n$  в нагельных швах при расчетном нагружении нагелей силами  $T_n$ .

На самом деле, в рассчитанной и сконструированной вышеуказанным образом балке усилия в нагелях на опорах не будут равны  $T_n$ , и следовательно сдвиг шва на опоре балки  $\delta$  не будет равен расчетному сдвигу  $\delta_n$ .

Ошибочность изложенного допущения заключается в том, что сила сдвига в шве  $T$  определялась в предположении полной монолитности балки, в то время как на самом деле балка имеет податливые соединения, что уменьшает силу сдвига в шве.

Если исходить из предположения, что сила, действующая в нагеле, пропорциональна сдвигу шва в этом месте, то нетрудно найти точное решение вопроса о распределении нагрузок между нагелями, представляющее собою многократно статически неопределимую задачу. Произведенное автором точное решение этой задачи для ряда случаев показало, что в обычных нагельных конструкциях можно без большой погрешности принимать закон распределения нагрузок в нагелях таким же, как и в монолитной балке со сплошной равномерной нагрузкой, т. е. по треугольнику.

Тогда решение задачи представится в следующем виде.

Вначале исходим из предположения, что нагели отсутствуют и конструкция представляет собой две положенные друг на друга балочки шириной  $b$  и высотой  $h$  (фиг. 1).

Суммарный момент инерции системы:

$$I_1 = 2 \frac{bh^3}{12} = \frac{bh^3}{6}. \quad (4)$$

Нагрузка распределяется поровну на обе балочки. Сдвиг шва на опоре:

$$\delta_0 = \frac{c}{3} \cdot \frac{c \cdot 5ql^2}{8} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{E \cdot 0.5 I_1} \cdot h = \frac{ql^3}{4Ebh^2}. \quad (5)$$

Для перехода от системы из двух балочек к истинной конструкции достаточно приложить во всех нагельных срезах системы из двух балочек соответствующие нагельные усилия. Если обозначить усилие в нагельном срезе на опоре через  $z$  и принять, как указано выше, треугольный закон распределения усилий в нагелях, то при равномерном расположении  $m$  нагелей на полупролете сдвигающая сила в шве:

$$T_z = \frac{mz}{2}. \quad (6)$$

Если бы сила  $T_z$  равнялась силе  $T$  для монолитной балки [см. ф-лу (1)], то под влиянием этой силы сдвиг шва на опоре  $\delta_0$  превратился бы в нуль, что и имеет место в монолитной балке. Но так как в шве имеется некоторый сдвиг, то сила  $T_z$  меньше, чем  $T$ , и эффект, вызванный силой  $T_z$ , в смысле уменьшения сдвига  $\delta_0$  в шве будет соответственно меньше и выразится величиной:

$$\delta_z = \delta_0 \frac{T_z}{T} = \frac{ql^3}{4Ebh^2} \cdot \frac{mz \cdot 3zh}{2 \cdot 3ql^2} = \frac{4lmz}{3Ebh}. \quad (7)$$

Исходя далее из того, что усилие в нагеле на опоре равно  $z$ , можем определить сдвиг шва на опоре составной балки величиной  $\mu z$ , где  $\mu = \frac{\delta_n}{T_n}$ ,  $T_n$  — расчетное допускаемое усилие в нагельном срезе, а  $\delta_n$  — соответствующий этому усилию сдвиг шва, взятый согласно § 204 ТУ и Н (или из других экспериментальных источников).

Составляя уравнение для определения  $z$ , получим:

$$\delta_0 - \delta_z = \mu z. \quad (8)$$

Подставляя в это уравнение выражения  $\delta_0$  и  $\delta_z$  из (5) и (7) после преобразования, получим:

$$z = \frac{3ql^3}{4h(3Ebh\mu + 4lm)}. \quad (9)$$

Из ур-ний (9) и (6) сумма сдвигающих сил в шве балки:

$$T_z = \frac{3mq^3}{8h(3Ebh\mu + 4lm)}. \quad (10)$$

Если взять отношение этой суммы сил  $T_z$  к сумме сил в монолитной балке  $T$ , то из (1) и (10) получим:

$$\frac{T_z}{T} = \frac{4}{4 + 3 \frac{Ebh\mu}{lm}} = \frac{4}{4 + 3c}, \quad (11)$$

где

$$c = \frac{Ebh\mu}{lm}. \quad (12)$$

Если обозначить прогиб середины монолитной балки через  $f$ , то прогиб составной балки к моментом инерции  $I = 4I_1$  получится:

$$f_z = 4f - 3f \frac{T_z}{T} = f \left( 1 + \frac{9c}{4 + 3c} \right). \quad (13)$$

Таким образом истинный коэффициент  $k_{сдв}$  вместо приведенного в § 41 ТУ и Н 1931 г. для случая балки из двух брусьев будет равен:

$$k_{сдв} = \frac{f_z}{f} = 1 + \frac{9c}{4 + 3c}, \quad (14)$$

где

$$c = \frac{Ebh\mu}{lm}, \quad \mu = \frac{\delta_n}{T_n}.$$

Напряжения в крайних волокнах составной балки под расчетной нагрузкой соответственно с найденным значением  $\frac{T_2}{T}$  могут быть определены по формуле:

$$n_{расч} = \frac{3pl^2}{16bh^2} \left( 2 - \frac{T_2}{T} \right) = \frac{3pl^2}{16bh^2} \left( 1 + \frac{3c}{4 + 3c} \right). \quad (15)$$

Пользуясь выведенными выражениями, нетрудно рассчитать балку из двух одинаковых брусьев, соединенных гвоздями, металлическими или дубовыми цилиндрическими нагелями. Для расчета балок на пластинчатых нагелях выведенные формулы не вполне пригодны, так как не учитывают ослабления брусьев нагельными гнездами.

Ввиду того что задача составного бруса без конструктивного подъема представляет практический интерес (например при расчете вертикальных стоек с горизонтальной нагрузкой, действующей либо с той либо с другой стороны), ниже приводится решение аналогичной задачи применительно к составным балкам из трех, четырех и пяти брусьев одинаковой высоты при равномерном размещении  $m$  штук нагелей на полупролете в каждом из швов.

При ином количестве брусьев, других соотношениях размеров и ином размещении нагелей расчет производится аналогично рассмотренному примеру.

## 2. Конструктивный строительный подъем первого рода

Конструктивный строительный подъем первого рода позволяет устранить дополнительный прогиб и дополнительные напряжения, возникающие в балке вследствие податливости соединений, т. е. привести составную балку, находящуюся под расчетной нагрузкой, в состояние, в каком находилась бы одинаковая с ней по размерам вполне монолитная балка.

Механизм придания подъема заключается в следующем.

Стадия 1. Собранный балка до постановки связей нагружается специально подобранной нагрузкой, которая сообщает элементам балки определенные начальные напряжения и прогибы. В обычном случае, когда свободно лежащая балка несет сплошную равномерную нагрузку, начальное напряжение балки для получения «классической» картины явления должно создаваться тоже путем нагружения ее элементов сплошной равномерной нагрузкой. При этом загрузении, о технике выполнения которого будет сказано ниже, отдельные элементы, составляющие балку, работают как отдельные свободно лежащие балочки, причем все они имеют одинаковые прогибы и несут нагрузки, пропорциональные их моментам инерции.

Стадия 2. В балке под нагрузкой засверливаются отверстия и ставятся на место нагели, после чего нагрузка снимается.

Необходимо обратить особое внимание на этот последний момент удаления нагрузки ввиду того, что непонимание этого явления служит обычной причиной неправильных выводов и представлений по всему вопросу о конструктивном строительном подъеме в целом.

Необходимо четко уяснить себе, что снятие нагрузки вполне аналогично нагруз-

жению конструкции нагрузкой обратного знака.

Если мы возьмем простую монолитную балочку и нагрузим ее некоторой нагрузкой  $p$  снизу вверх, а затем добавим такую же нагрузку  $p$ , но по направлению сверху вниз, то в результате балочка окажется в состоянии отсутствия нагрузки, напряжений и прогибов. Рассматриваемый нами случай придания конструктивного подъема отличается от приведенного примера только тем, что в промежутке между первым нагружением (вверх) и вторым нагружением (вниз) устанавливаются в швах соединительные связи. В результате получается, что первая нагрузка действует на отдельные не соединенные между собой элементы балки, а вторая — на балку составного сечения, элементы которой соединены между собою податливыми связями. Ввиду того что первая конструкция (без связей) и вторая (со связями) реагируют на нагрузку по-разному, то получается, что после снятия начальной нагрузки в балке остаются определенные уравновешенные внутренние напряжения и соответствующая им деформация всей конструкции.

Эти начальные напряжения и начальная деформация балки могут быть получены путем суммирования напряжений и деформаций, возникающих при нагрузке балки (без связей) и ее разгрузке (со связями), производимых обычно в станке той или иной конструкции, т. е. путем суммирования стадий 1 и 2.

Если напряжение в какой-либо точке балки, возникающее при ее нагрузке в станке, обозначить через  $n'$ , а напряжение, возникающее в той же точке при разгрузке балки в станке, — через  $n''$ , то начальное напряжение в этой точке, имеющее место после снятия балки со станка, будет:

$$n_{нач} = n' + n''. \quad (16)$$

Интенсивность нагрузки  $p$  в станке можно подобрать таким образом, чтобы начальное напряжение  $n_{нач}$  полностью компенсировало то добавочное напряжение, которое возникает в балке под расчетной нагрузкой.

Обозначая интенсивность расчетной нагрузки через  $q$  для балки, составленной из двух брусьев, получим следующее уравнение для определения необходимой начальной нагрузки  $p$  в станке:

$$\frac{3pl^2}{8bh^2} - \frac{3pl^2}{16bh^2} \left( 1 + \frac{3c}{4 + 3c} \right) = \frac{3}{16} \cdot \frac{ql^2}{bh^2} \cdot \frac{3c}{4 + 3c}. \quad (17)$$

Левая часть этого уравнения представляет собой начальное напряжение  $n_{нач}$ , правая часть — добавочное напряжение в балке под расчетной нагрузкой  $q$  по ф-ле (15).

Решая уравнение относительно  $p$ , получим:

$$p = \frac{3c}{4} q. \quad (18)$$

То же значение начальной нагрузки  $p$  можно получить, если исходить из условия равенства нулю добавочного (по сравнению с монолитной балкой) прогиба под расчетной нагрузкой, т. е. из уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{5pl^4}{384E \cdot 0,25I} - \frac{5pl^4}{384EI} \left( 1 + 3 \frac{3c}{4 + 3c} \right) &= \\ &= \frac{5ql^4}{384EI} \cdot 3 \frac{3c}{4 + 3c}. \end{aligned} \quad (19)$$

То же значение нагрузки  $p$  может быть наконец получено третьим способом, если приравнять нулю сдвиг шва на опоре балки под расчетной нагрузкой.

В самом деле, сдвиг шва на опоре балки при снятии ее со станка по ф-лам (7), (5) и (11):

$$\delta_{нач} = \delta_0 \frac{T_2}{T} = \frac{p l^3}{4 E b h^3} \cdot \frac{4}{4 + 3c}. \quad (20)$$

Сдвиг шва от расчетной нагрузки  $q$  по ф-лам (8) и (9):

$$\delta_q = \mu z = \frac{3 q l^3 \mu}{4 h (3 E b h \mu + 4 t m)}.$$

Приравнивая  $\delta_{нач}$  и  $\delta_q$ , снова получим  $p = \frac{3c}{4} q$ .

Таким образом балка с конструктивным строительным подъемом первого рода находится под расчетной нагрузкой в том же состоянии, какое имело бы место при полной монолитности сечения, т. е. не получает добавочных напряжений, прогибов и сдвига в швах.

Ввиду неудобства создания в станке необходимой равномерно распределенной нагрузки обычно производят изгиб балки по заданной кривой, что теоретически вполне равноценно действию силами при условии, если при назначении упругой линии правильно задан модуль упругости  $E$  дерева.

Необходимый выгиб в станке, соответствующий величине нагрузки по ф-ле (18), равен:

$$f_{cmp} = \frac{5}{384} \cdot \frac{p l^4}{E} \cdot \frac{6}{b h^3} = \frac{15}{256} \cdot \frac{q l^4 c}{E b h^3} = \frac{15 q l^3 \delta_n}{256 h^2 m T_n}. \quad (21)$$

Если балка рассчитана как монолитная согласно выражениям (1) и (2), то, подставляя в ф-лу (21) соотношение  $m \cdot T_n = \frac{3 q l^2}{16 h}$ , полученное из (1) и (2), найдем:

$$f_{cmp} = \frac{l \delta_n}{3,2 h}. \quad (22)$$

Выражение (22) вполне совпадает с приведенным в ТУ и Н (§ 197) приближенным выражением:

$$f_{cmp}^I = \frac{l \sum \delta}{3e} = \frac{l \delta_n}{3h}. \quad (23)$$

Если балка рассчитана как монолитная, то задаваемый в станке на опоре балки сдвиг  $\delta_0$ , определяемый из выражения (5), после подстановки в это выражение соотношений (18), (2) и (1) дает в результате  $\delta_0 = \delta_n$ , т. е. сдвиг шва в станке должен равняться сдвигу в нагелях при их расчетном нагружении. Ввиду того что под расчетной нагрузкой сдвиг шва равен нулю, можно сделать вывод, что нагель на опоре балки действительно нагружен своей полной расчетной нагрузкой. Этот вывод может быть сделан и непосредственно, если в выражении усилия в нагеле на опоре балки (9) заменить нагрузку  $q$  нагрузкой  $p + q = \left(1 + \frac{3c}{4}\right) q$  и подставить в это выражение соотношение  $m T_n = \frac{3 q l^2}{16 h}$  из ф-л (1) и (2).

Общий вывод из всего вышеизложенного может быть сформулирован так.

Если составной балке на податливых соединениях придается конструктивный строи-

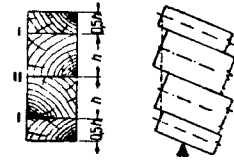
тельный подъем первого рода, при котором в швах балки в любой их точке  $x$  создаются не станке сдвиги  $\delta_x$ , соответствующие нагрузкам на нагели  $T_x$  в тех же точках  $x$  монолитной балки, составная балка может быть рассчитана как монолитная.

Поясним сказанное двумя примерами.

**Пример 1.** Пусть балка составлена из четырех брусьев одинаковой высоты (фиг. 2). Поместив такую балку в станок, замечаем, что взаимные сдвиги в швах  $I$  и  $II$  в любом поперечном сечении балки одинаковы. Отсюда следует, что на опоре балки можно полностью использовать гвоздевые срезы во всех швах. Учитывая далее, что сдвигающие силы в швах  $T_I$  и  $T_{II}$  относятся между собой, как 3 : 4, заключаем, что количество срезов нагелей в швах  $I$  и  $II$  тоже должно относиться, как 3 : 4. Поэтому, определив силы  $T_I$  и  $T_{II}$  из расчета монолитной балки, можем назначить в шве  $I$  нагельных срезов  $m_I = \frac{2 T_I}{T_n}$ , а в шве  $II$  соответственно  $m_{II} = \frac{2 T_{II}}{T_n}$ , где, как и выше,  $T_n$  — допустимая нагрузка на один нагельный срез.



Фиг. 2. Составное сечение из четырех одинаковых брусьев



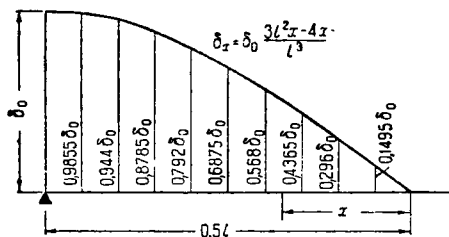
Фиг. 3. Сдвиг в швах балки из брусьев разной высоты

**Пример 2.** Пусть балка имеет сечение, показанное на фиг. 3. Поместив такую балку в станок, замечаем, что сдвиги в швах  $I$  относятся к сдвигам в шве  $II$ , как  $\frac{0,25h + 0,5h}{h} = \frac{3}{4}$ . Отсюда заключаем, что при полном использовании нагелей на опоре балки в шве  $II$  мы должны нагели в швах  $I$  использовать только на 75% и назначить количество нагельных срезов в шве  $I$  —  $m_I = \frac{8 T_I}{3 T_n}$ , а в шве  $II$  —  $m_{II} = \frac{2 T_{II}}{T_n}$ , где  $T_I$  и  $T_{II}$  — сдвигающие силы в швах монолитной балки.

Во всех выводах и примерах, приведенных выше, предполагалось, что нагели поставлены равномерно по всей длине балки, что довольно хорошо согласуется с требованием нулевых сдвигов по всей длине швов, т. е. максимального приближения балки со строительным подъемом первого рода к монолитной балке. Однако постановка нагелей в средней части балки экономически мало эффективна ввиду того, что по мере приближения к середине пролета усилия в нагелях падают. Поэтому обычно в средней трети или в средней половине пролета нагели ставятся в полтора-два раза реже, чем на крайних участках балки.

Целесообразность этого приема подтверждается не только общеэкономическими соображениями, но также и более точным анализом вопроса о распределении соединений по длине балки.

Если балка предназначена под равномерно распределенную нагрузку, то касательные напряжения в шве монолитной балки распределяются по закону прямой от нуля в середине пролета до максимума на опоре балки. Однако сдвиги в швах такой балки при ее изгибании в станке распределяются не по линейному закону, а по криволинейному, показанному на фиг. 4. Руко-



Фиг. 4. Эпюра сдвигов в шве составной балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой

дствуясь общим выводом о подъеме первого рода, сформулированным выше, мы должны и нагели расставить таким образом, чтобы сдвиги в шве на станке вполне соответствовали усилиям в нагелях.

Если обозначить сдвигающую силу на единицу длины шва в любой его точке через  $t_x$  и соответствующее количество нагельных срезов через  $m_x$ , то в любой точке шва усилие в нагеле будет равно  $\frac{t_x}{m_x}$ . Сдвиг  $\delta_x$  в шве в этой точке на станке должен быть пропорционален усилию в нагеле, т. е. должно иметь место соотношение:

$$\frac{t_x}{m_x} : T_n = \delta_x : \delta_n \text{ или } \delta_x = \frac{\delta_n}{T_n} \cdot \frac{t_x}{m_x}, \quad (24)$$

где, как и раньше:

$T_n$  — допускаемое усилие на нагельный срез;

$\delta_n$  — соответствующий этому усилию сдвиг шва.

Применив выражение (24) к опорному сечению балки, получим:

$$\delta_0 = \frac{\delta_n}{T_n} \cdot \frac{t_0}{m_0},$$

откуда:

$$\frac{\delta_n}{T_n} = \frac{\delta_0 m_0}{t_0}. \quad (25)$$

Сделав подстановку из (25) в (24), найдем:

$$\delta_x = \delta_0 \cdot \frac{m_0}{m_x} \cdot \frac{t_x}{t_0}. \quad (26)$$

С другой стороны, величина  $\delta_x$  связана с  $\delta_0$  уравнением кривой, данной на фиг. 4, а именно:

$$\delta_x = \delta_0 \cdot \frac{3l^2 x - 4x^3}{l^3}. \quad (27)$$

Сделав подстановку из (27) в (26) и заметив при этом, что  $\frac{t_x}{t_0} = \frac{x}{0,5l}$ , получим:

$$\delta_0 \frac{3l^2 x - 4x^3}{l^3} = \delta_0 \frac{m_0}{m_x} \cdot \frac{2x}{l},$$

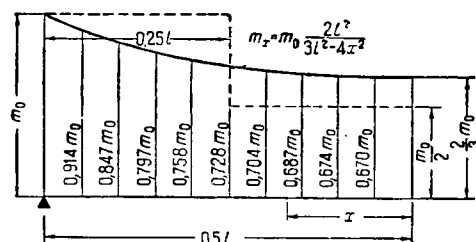
откуда:

$$m_x = m_0 \frac{2l^2}{3l^2 - 4x^2}. \quad (28)$$

Кривая, соответствующая выражению (28), нанесена на фиг. 5. Эта кривая показывает, что интенсивность расстановки нагелей должна падать от опоры балки к середине пролета, где она

должна составлять всего лишь  $\frac{2}{3}$  от интенсивности на опоре, или шаг нагелей в середине пролета должен быть в полтора раза больше, чем на опоре.

Для целей практики можно рекомендовать такую расстановку нагелей, при которой в крайних четвертях балки устанавливаются нагели расчетной интенсивности, в остальной же части — вдвое реже (пунктир на фиг. 5).



Фиг. 5. Интенсивность размещения связей в балке с подъемом первого рода, создаваемым равномерными силами

Понимать это нужно так: при расчете предполагается, что нагели расставлены с интенсивностью  $m_0$  равномерно по всей длине балки, фактически же в средней половине балки ставится половина расчетного количества. Такое допущение вполне оправдано, ибо: 1) количество нагельных срезов по кривой на фиг. 5, равное  $0,76 m_0 l$ , очень близко к количеству срезов по пунктирной линии, равному  $0,75 m_0 l$ , и 2) совершаемая при этом погрешность хорошо компенсируется небольшим запасом, получающимся в результате того, что при равномерной расстановке нагелей предполагается линейный закон распределения усилий в нагельных срезах. Как показали подсчеты, проделанные автором, удаление половины нагелей из средней части балки даже улучшает совпадение результатов приближенного и точного расчетов, уменьшая разницу между ними до 2—3% в запас прочности и жесткости.

Необходимо предостеречь от ошибки, нередко допускаемой проектировщиками и состоящей в том, что по сдвигающей силе  $T$ , определенной для монолитного сечения, размещается затем количество нагельных срезов, меньшее  $1,5 \frac{T}{T_n}$ :

В случае такой чрезмерной экономии нагелей увеличение придаваемого балкам строительного подъема за счет увеличенного допускаемого сдвига в швах под расчетной нагрузкой не является удачным выходом. Хотя увеличением подъема и удается получить законный прогиб балки под расчетной нагрузкой, однако допускаемое при этом (в скрытом виде) значительное увеличение нагрузки на нагель уменьшает коэффициент безопасности конструкции и кроме того легко может привести к значительным неупругим остаточным просадкам балок даже при временной перегрузке их.

Согласно ТУ и Н конструктивный строительный подъем должен создаваться путем изгибания элементов балки в специальном станке. Приводимая в § 203 ТУ и Н табличка ординат строительного подъема очень часто дается на чертежах для руко-

водства при изготовлении балок. Однако трудность изготовления достаточно точных шаблонов для изгибания элементов составных балок потребовала установить, действительно ли необходимо придавать подъем равномерно распределенной нагрузкой и нельзя ли упростить в этом отношении изготовление балок. Автором статьи было предложено изгибать элементы одним сосредоточенным грузом в середине пролета балки. Этот способ в настоящее время имеет значительное распространение в строительстве. Нет никакого сомнения, что в ближайшем будущем этот способ будет рекомендован ТУ и Н и сделается общераспространенным.

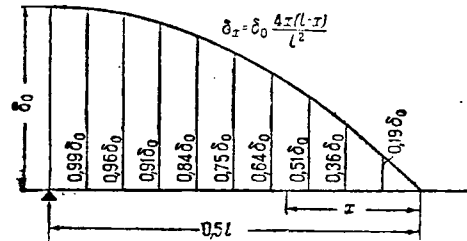
В связи с этим возникает вопрос о том, как должны быть учтены особенности нового способа в расчете балок. Для выяснения этого вопроса автор точно решил задачу распределения усилий между нагелями при нагружении составной балки одним сосредоточенным грузом в середине ее пролета. Это решение показало, что кривая распределения нагельных усилий в этом случае близка к окружности с центром под опорой, но для практических расчетов может быть принята за квадратную параболу с уравнением:

$$T_x = T_0 \frac{4x(l-x)}{l^2} \tag{29}$$

где  $T_0$  — усилие в нагеле на опоре;  
 $x$  — расстояние от середины пролета до рассматриваемого нагеля.

Зависимость между  $T_x$  и  $T_0$  воспроизведена кривой на фиг. 6.

Результат приближенного решения задачи, основанного на параболическом законе распределения нагельных усилий, близок к результату точного решения, что позволяет считать



Фиг. 6. Параболическая эюра сдвигов в шве балки

параболический закон вполне пригодным для решения аналогичных практических задач. Дальнейшее исследование вопроса показало, что стрелка строительного подъема первого рода, получаемая в этом случае, мало отличается от стрелки, получаемой по ф-ле (22), и что поэтому при выгибании балки сосредоточенным грузом можно назначать стрелку, пользуясь тем же выражением (22).

Вторым преимуществом нового способа кроме чисто производственного является экономический

Таблица 1

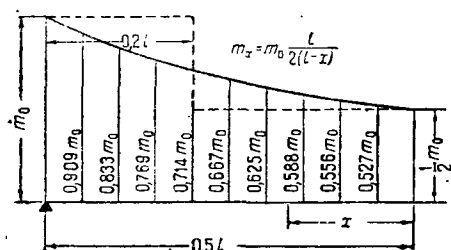
Данные для расчета составных брусьев на податливых соединениях

| Форма сечения бруса | Коэффициент эффективности соединения $\frac{T_z}{T}$   | Прогиб по отношению к монолитному брусу $k_{сдв} = \frac{f_z}{f}$ | Расчетное напряжение в крайних волокнах бруса $\sigma_{расч}$                               |
|---------------------|--|---|---|
|                     | $\frac{4}{4+3c}$   | $1 + 3 \frac{3c}{4+3c}$   | $\frac{3}{16} \frac{q l^2}{b h^2} \left( 1 + \frac{3c}{4+3c} \right)$                       |
|                     | $\frac{3}{3+2c}$   | $1 + 8 \frac{2c}{3+2c}$   | $\frac{1}{12} \frac{q l^2}{b h^2} \left( 1 + 2 \frac{2c}{3+2c} \right)$                     |
|                     | $\frac{T_z^I}{T_I} = \frac{16(1+2c)}{16+39c+18c^2}$<br>$\frac{T_z^{II}}{T_{II}} = \frac{8(2+3c)}{16+39c+18c^2}$          | $1 + 15 \frac{10.2c+18c^2}{16+39c+18c^2}$                         | $\frac{3}{64} \frac{p l^2}{b h^2} \left[ 1 + 3 \frac{11c+18c^2}{16+39c+18c^2} \right]$      |
|                     | $\frac{T_z^I}{T_I} = \frac{125(1+3c)}{125+378c+180c^2}$<br>$\frac{T_z^{II}}{T_{II}} = \frac{125(1+2c)}{125+378c+180c^2}$ | $1 + 24 \frac{78c+180c^2}{125+378c+180c^2}$                       | $\frac{3}{100} \frac{p l^2}{b h^2} \left[ 1 + 4 \frac{93c+180c^2}{125+378c+180c^2} \right]$ |

Примечание. Во все случаях коэффициент  $c = \frac{E b h^3 n}{I m T_n}$ .

более выгодное распределение нагрузок на нагели. Кривая сдвигов получается параболической (фиг. 6), необходимое количество нагелей снижается до 0,694  $m_0 l$ . Размещение нагелей можно производить согласно пунктирной линии на фиг. 7, где сплошная линия дает теоретическое размещение нагелей.

В заключение необходимо все же отметить, что предлагаемая ТУ и Н и поддерживаемая нами возможность производить расчет составной балки как монолитной при устройстве конструктивного строительного подъема первого рода теоретически не является строго обоснованной. При дальнейшем нагружении балки сверх расчетной нагрузки в ней появляются дополнительные напряжения, понижающие коэффициент запаса составной балки по сравнению с монолитной.



Фиг. 7. Интенсивность размещения связей в балке с подъемом первого рода, создаваемым силой, сосредоточенной в середине пролета

Следует все же полагать, что этот коэффициент остается достаточно высоким, ибо вообще коэффициенты запаса при изгибе монолитных балок значительно превосходят коэффициенты запаса прочих деревянных конструкций.

Необходимо далее учесть, что балка с подъемом первого рода не делается более жесткой по сравнению с такой же балкой, собранной без строительного подъема. С точки зрения поведения под нагрузкой балка с подъемом не делается «монолитной», и каждый килограмм нагрузки на балке вызывает такой же вертикальный прогиб, какой получился бы у балки, собранной без подъема. Вследствие этого в тех случаях, когда решающее значение имеет возникающий под нагрузкой абсолютный прогиб, балка должна трактоваться как составная на податливых соединениях и расчетный момент инерции должен определяться специальным расчетом с учетом упругой податливости связей (в подходящих случаях он может быть взят из последней графы табл. 1).

В вопросе об оптимальной области применения конструктивного строительного подъема первого рода среди специалистов имеются некоторые разногласия; нередко приходится слышать, что подъем первого рода «академичен» и что составным балкам всегда нужно придавать подъем второго рода. Это мнение ни на чем не основано, и можно утверждать, что в некоторых случаях и в экономическом и в техническом отношениях предпочтительнее именно подъем первого рода. В частности оптимальной областью применения подъема первого рода являются составные гвоздевые прогоны из мощного бруса с нашитыми на него сверху и снизу менее мощными досками, о чем подробнее будет сказано ниже.

### 3. Конструктивный строительный подъем второго рода

Подъем второго рода имеет целью создать в составной балке такие внутренние напряжения и деформацию, чтобы прогиб балки под расчетной нагрузкой равнялся нулю. Рассматривая «классический» случай придания подъема, когда начальная нагрузка задается равномерно распределенными силами, получим необходимую интенсивность начальной нагрузки  $p$  (применительно к рассмотренному выше примеру) из уравнения:

$$\frac{5}{384} \cdot E \cdot 0,25 \cdot I - \frac{5}{384} \cdot \frac{p l^4}{EI} \left(1 + \frac{9c}{4 + 3c}\right) = -\frac{5}{384} \cdot \frac{q l^4}{EI} \left(1 + \frac{9c}{4 + 3c}\right), \quad (30)$$

откуда после преобразования получим:

$$p = \left(\frac{1}{3} + c\right) q. \quad (31)$$

Соответствующая этой нагрузке стрелка выгиба элементов балки в станке:

$$f_{стп} = \frac{5}{384} \cdot \frac{p l^4 \cdot 12}{E \cdot 2 \cdot b h^3} = \frac{5}{192} \cdot \frac{q l^4}{E b h^3} (1 + 3c). \quad (32)$$

Определим напряжение в волокнах балки под расчетной нагрузкой  $q$ .

Напряжения в крайних волокнах определяются по ф-лам (15) и (31):

$$n_{расч} = \frac{p l^2}{8} \cdot \frac{6}{2 b h^2} - \frac{3}{16} \cdot \frac{(p + q) l^2}{b h^2} \left(1 + \frac{3c}{4 + 3c}\right) = -\frac{q l^2}{8 b h^2}. \quad (33)$$

Первый член суммы представляет собою напряжение, возникающее при выгибании балки в станке, второй член — сумму напряжений, возникающих при снятии балки со станка и при действии расчетной нагрузки  $q$ .

Напряжения в средних волокнах определяются по формуле, получаемой аналогично ф-ле (15) и дающей напряжение от нагрузки  $q$ :

$$n_0 = \frac{3 q l^2}{16 b h^2} \left(2 - 2 \frac{T_2}{T}\right) = \frac{3 q l^2}{16 b h^2} \cdot \frac{6c}{4 + 3c}. \quad (34)$$

Для нашего случая:

$$n_0 = \frac{p l^2}{8} \cdot \frac{6}{2 b h^2} + \frac{3}{16} \cdot \frac{(p + q) l^2}{b h^2} \cdot \frac{6c}{4 + 3c} = -\frac{q l^2}{8 b h^2}. \quad (35)$$

Как видно из ф-л (27) и (29), напряжения в крайних и средних волокнах одинаковы. То же имеет место и для любого иного волокна. Этот результат можно было получить и иначе — путем простого умозаключения. В самом деле, согласно нашему требованию прогиб балки под расчетной нагрузкой  $q$  должен равняться нулю. А если так, то все волокна под расчетной нагрузкой должны оказаться прямолинейными, т. е. должно отсутствовать самое явление изгиба, с которым неразрывно связано искривление оси элементов. Таким образом единственной возможной формой равновесия будет та, при которой все сжатые волокна имеют одно и то же напряжение, равное напряжению всех растянутых волокон. Плечо внутренней пары для нашего случая должно при этом равняться  $h$ , а напряжение должно определиться из равенства:

$$\frac{q l^2}{8} = b h \cdot h \cdot n_{расч} \quad (36)$$

откуда:

$$n_{расч} = \frac{q l^2}{8 b h^2}. \quad (37)$$

В этом случае сумма сдвигающих сил на полу-пролете балки:

$$T = bhnp_{расч} = \frac{ql^2}{8h}. \quad (38)$$

Если нагели поставлены по длине балки равномерно и усилие в нагеле на опоре равно  $T_n$ , то, принимая, как и раньше, линейный закон распределения нагрузок на нагели, получим:

$$T = \frac{mT_n}{2},$$

откуда:

$$mT_n = \frac{ql^2}{4h}. \quad (39)$$

Возвращаясь к выражению (32) для стрелы прогиба второго рода, замечаем, что величина стрелы состоит из двух частей, одна из которых зависит от параметра  $c$ , а другая не зависит. Выражение (32) может быть преобразовано следующим образом:

$$f_{cm}^{II} = \frac{15}{192} \cdot \frac{ql^2c}{Ebhs} + \frac{5}{192} \cdot \frac{ql^4}{Ebhs^3} = \frac{15ql^2\delta_n}{192h^2mT_n} + \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{E \cdot 0,5 \cdot bh^3}. \quad (40)$$

Делая подстановку из (31) и обозначая  $0,5bh^3 = I_0$ , получим:

$$f_{cm}^{II} = \frac{I_0\delta_n}{3,2h} + \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI_0}. \quad (41)$$

Это выражение вполне совпадает с формулой, приведенной § 199 ТУ и Н. Таким образом наши выводы расшифровывают формулы для расчета балок, снабженных конструктивным строительным подъемом второго рода, приведенные в § 199 ТУ и Н.

В простейшем случае, когда  $c = 0$  (что соответствует клееным балкам), величина стрелы подъема будет равна:

$$f_{cm}^{II} = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI_0}. \quad (42)$$

Клееная балка с такой стрелой подъема будет вести себя под расчетной нагрузкой  $q$  как вполне монолитный брус, причем возникающие в этой балке напряжения  $n$  и  $t$  и прогибы будут определяться по обычным формулам строительной механики для монолитных брусков. Формулы § 199 нужно понимать как условные, позволяющие сразу считать как напряжения, возникающие от расчетной нагрузки  $q$ , так и напряжения, возникающие от начальной нагрузки  $p$ .

Для симметричных сечений имеем формулы: расчетный момент инерции:

$$I_0 = \frac{1}{2} \cdot \sum F_n e_n^2, \quad (43)$$

расчетный момент сопротивления:

$$W_0 = \frac{I_0}{0,5e_{max}}, \quad (44)$$

где  $F_n$  — площадь элемента сечения балки;

$e_n$  — расстояние между центрами тяжести каждой пары элементов, симметричных относительно оси балки.

Условность приведенных формул можно пояснить следующим образом.

Положим, речь идет о составной на клею балке с подъемом второго рода. В станке балка подвергается действию нагрузки  $p$ , создающей выгиб элементов  $f_{cm}^{II}$  (стадия 1). Затем происходит схватывание и твердение клея, после чего балка вынимается из станка. В момент вынимания из стан-

ка на балку, работающую как вполне монолитный брус, действует в обратную сторону та же начальная нагрузка  $p$  (стадия 2). Наконец под действием расчетной нагрузки  $q$  (стадия 3) балка приходит в расчетное состояние, характеризующееся вполне прямолинейной осью. Обозначая момент инерции сечения балки через  $I$ , сумму моментов инерции сечений элементов, составляющих балку, через  $I_1$ , получим следующее уравнение для определения  $p$ :

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{pl^4}{EI_1} - \frac{5}{384} \cdot \frac{pl^4}{EI} - \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI} = 0, \quad (45)$$

откуда:

$$p = \frac{I_1}{I - I_1} q = \frac{I_1}{I_0} q. \quad (46)$$

На основании ф-лы (45) стрелка строительного подъема:

$$f_{cm}^{II} = \frac{5}{384} \cdot \frac{pl^4}{EI_1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI_0}, \quad (47)$$

т. е. момент инерции  $I_0$  является фиктивным, условно заменяющим истинный момент инерции  $I$ . Если по ф-ле (46) определить отношение  $\frac{q}{p+q}$ , то получим:

$$\frac{p}{p+q} = \frac{I_0}{I}.$$

Это показывает, что замена полной действующей на составную балку нагрузки  $p+q$  расчетной нагрузкой  $q$  равносильна замене истинного момента инерции  $I$  фиктивным расчетным моментом инерции  $I_0$ .

Однако одной этой условности для расчета балки оказывается недостаточно, и приходится ввести еще вторую условность, выражаемую соотношением (44).

Расчетное напряжение в крайних волокнах балки должно получаться суммированием напряжений от изгиба в стадиях 1, 2 и 3. Стадия 2 учитывается заменой  $I$  через  $I_0$ , а стадия 1 исключается тем, что напряжение исчисляется по ф-ле (44) для центра тяжести крайнего элемента балки, т. е. для той точки, где стадия 1 (изгиб в станке) дает напряжение, равное нулю. Ввиду того что по высоте сечения крайнего элемента суммарное напряжение не меняется, то напряжение, определенное по ф-ле (44) для одной из точек, является расчетным напряжением и для всего сечения.

Сдвигающие напряжения учитываются по обычной формуле:

$$t = \frac{QS}{I},$$

где момент инерции  $I$  заменяется условным моментом инерции  $I_0$ .

Простота ф-л (43) и (44) заставляет считать применение их вполне рациональным; необходимо однако отметить и подчеркнуть их условность, которую иногда привести к неправильным выводам.

В частности не нужно забывать, что прогиб от расчетной нагрузки  $q$  должен определяться по реальному моменту инерции  $I$ , и следовательно жесткость клееной балки с подъемом второго рода та же самая, что и без подъема.

В составных балках на податливых соединениях податливость связей должна компенсироваться соответствующим увеличением придаваемого балке подъема для того, чтобы балка на податливых соединениях находилась в тех же условиях, как и клееная балка с подъемом второго рода.

Рассматривая сначала «классический» случай придания подъема равномерно распределенной нагрузкой  $p$ , можем общий вывод сформулировать так.

Составная балка на податливых соединениях, коей придается конструктивный строительный подъем второго рода, может быть рассчитана как клееная лишь в том случае, если на станке создаются сдвиги в швах  $\alpha_x + \delta_x$ , где  $\alpha_x$  — сдвиги, соответствующие сдвигам в станке клееной балки, а  $\delta_x$  — сдвиги, соответствующие тем нагрузкам на нагели  $T_x$ , какие имеют место в каждой точке клееной балки под расчетной нагрузкой.

Разница между подъемом первого и второго рода заключается только в том, что при подъеме второго рода балке придается несколько больший выгиб, соответствующий сдвигам  $\alpha_x$ . Все остальное остается без изменений. Все выводы, сделанные при исследовании подъема первого рода (см. выше), остаются справедливыми и в этом случае, так же как приведенные там фиг. 4 и 5.

Несколько иначе происходит явление, если подъем придается силой, сосредоточенной в середине пролета балки.

В этом случае приданием подъема и соответствующей расстановкой нагелей теоретически не удается получить полного совпадения во всех точках с аналогичной клееной балкой.

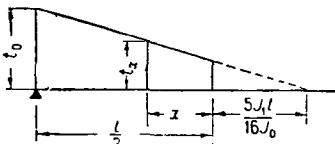
Величина груза  $P$ , необходимого для придания подъема второго рода клееной балке, определяется из уравнения:

$$\frac{Pl^3}{48EI} - \frac{Pl^3}{48EI} - \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI} = 0,$$

откуда:

$$P = \frac{5}{8} \cdot \frac{I_1}{I_0} ql. \quad (48)$$

Во второй стадии работы балки сила  $P$  создает в шве балки прямоугольную эпюру сдвигающих сил. Под расчетной нагрузкой полная эпюра сдви-



Фиг. 8. Эпюра сдвигающих усилий в шве балки с подъемом второго рода, создаваемым силой, сосредоточенной в середине пролета

гающих сил будет иметь трапециевидное очертание. Поперечная сила на опоре балки будет равна:

$$\frac{ql}{2} + \frac{5}{16} \cdot \frac{I_1}{I_0} ql,$$

а в середине пролета:

$$\frac{5}{16} \cdot \frac{I_1}{I_0} ql.$$

Отношение сдвигающей силы в пролете  $t_x$  к сдвигающей силе на опоре  $t_0$  может быть согласно фиг. 8 получено в общем виде из соотношения:

$$\frac{t_x}{t_0} = \frac{\frac{5}{16} \cdot \frac{I_1}{I_0} l + x}{\frac{5}{16} \cdot \frac{I_1}{I_0} l + \frac{l}{2}} = \frac{5 \frac{I_1}{I_0} + 16 \frac{x}{l}}{5 \frac{I_1}{I_0} + 8}. \quad (49)$$

В случае балки из двух брусьев:

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{1}{3}, \quad \frac{t_x}{t_0} = \frac{5}{29} + \frac{48}{29} \cdot \frac{x}{l}. \quad (50)$$

Если балка неклееная, а составная на нагелях, то нагрузки на нагели  $T_x$  должны соответствовать как эпюре сдвигающих сил по фиг. 8, так и сдвигам  $\delta_x$  в швах, придаваемым балке на станке и меняющимся по параболическому закону (фиг. 6):

$$\delta_x = \delta_0 \frac{4x(l-x)}{l^2}. \quad (51)$$

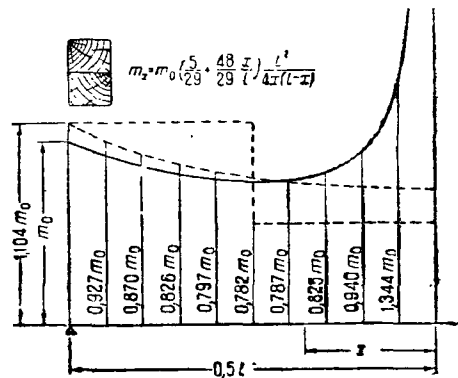
Выражение (26) принимает в нашем случае вид:

$$\delta_0 = \frac{4x(l-x)}{l^2} = \delta_0 \frac{m_0}{m_x} \left( \frac{5}{29} + \frac{48}{29} \cdot \frac{x}{l} \right), \quad (52)$$

откуда получим:

$$m_x = m_0 \left( \frac{5}{29} + \frac{48}{29} \cdot \frac{x}{l} \right) \frac{l^2}{4x(l-x)}. \quad (53)$$

Кривая  $m_x$ , соответствующая сечению из двух брусьев и ностроенная на фиг. 9, имеет в середине



Фиг. 9. Интенсивность размещения связей в балке с подъемом второго рода

пролета ординату  $m_x = \infty$ . Объясняется это тем, что в середине пролета сдвиги в швах равны нулю, в то время как сдвигающая сила  $t_x$  имеет конечную величину.

Выше указывалось, что нет возможности создать вполне «клееное» сечение при изгибании балок сосредоточенным грузом, но практически в этом нет и надобности, поскольку основное требование — получить под нагрузкой  $q$  прогиб, равный нулю, — удовлетворяется не только при равномерном размещении нагелей интенсивностью  $m_0$ , но и при более экономичном размещении их вдвое увеличенным шагом в середине пролета.

Нанесенная на фиг. 9 пунктиром (в том же масштабе) кривая распределения нагелей при изгибании той же балки равномерно распределенной нагрузкой  $p$  показывает, что на наиболее важном участке балки у опоры при сосредоточенном грузе требуется меньшее количество нагелей и что следовательно средний участок балки вполне может быть соединен более слабо за счет усиления соединения крайних ее участков.

В результате можно предложить такой способ расстановки связей при получении конструктивного строительного подъема второго рода сосредоточенной силой, при котором расчет нагелей и их расстановка производится так же, как и при получении подъема равномерно распределенной нагрузкой. В этом последнем случае необходимое количество нагелей на полупролете балки



$m$  определяется как при назначении подъема первого рода по формуле:

$$m = 1,5 \frac{T}{I_n}, \quad (54)$$

где  $T = \frac{ql^2}{8} \cdot \frac{S}{I_0}$  — расчетная сдвигающая сила в леве клееной балки;

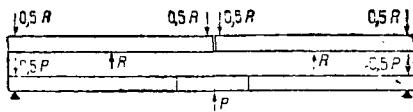
$T_n$  — допустимое усилие в нагеле на опоре балки;

$S$  — статический момент рассматриваемой части сечения.

Практически нужно определять число нагелей по формуле:

$$m_1 = \frac{T}{T_n} = \frac{ql^2}{8I_n} \cdot \frac{S}{I_0} \quad (55)$$

и размещать их в крайних четвертях пролета балки. В средней половине пролета ставить половину этого количества нагелей  $m_1 = 0,5 m_1$ .



Фиг. 10. Выгибание обоих поясов двутавровой балки

Изложенным исчерпывается вопрос о способе расчета и конструирования составных балок на податливых и клеевых соединениях при устройстве конструктивного строительного подъема второго рода. Необходимо однако остановиться на том, насколько закономерно положение, когда составная балка с подъемом второго рода «получается» по расчету прочнее монолитной не только при клеевых соединениях, но даже и при податливых соединениях нагельного типа.

Если балку с подъемом второго рода загрузить двойной расчетной нагрузкой, то для сечения и двух брусьев при клеевом соединении расчетное напряжение увеличится в два с половиной раза, при нагельных соединениях — почти в три раза. Одно это говорит уже о том, что при расчете на полное допустимое напряжение коэффициент запаса балок с подъемом второго рода должен быть значительно ниже коэффициента запаса монолитных балок. Получающаяся неувязка можно устранить двойно: 1) увеличить допустимое напряжение на монолитные балки, если экспериментально будет подтверждено, что они имеют чрезмерно большие запасы прочности сравнительно с другими деревянными конструкциями; 2) понизить допустимое напряжение на составные балки, коим придается подъем второго рода, настолько, чтобы допускаемая на составную балку расчетная нагрузка не превосходила расчетной нагрузки на монолитную балку такого же сечения. Второй вариант нам представляется более правильным.

Сфера применения подъема второго рода.

Безусловно оптимальными для назначения подъема второго рода являются двутавровые балки с перекрестной и фанерной стенками, тавровые балки, подстропильные и шпренгельные балки, фермы Тангера и т. д.

Конструктивный подъем имеет смысл только в тех случаях, когда отдельные балочные элементы конструкции либо совсем не имеют стыков в пролете либо имеют стыки, равнопрочные и равножесткие неразрезанному сечению элементов.

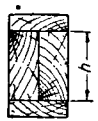
Если двутавровая балка имеет стыки поясов в середине пролета: верхнего — в виде лобового упора и нижнего — с деревянными накладками на гвоздях или нагелях (фиг. 10), соединенными с лосыными досками до придания подъема, то в станке нижний пояс может быть изогнут тремя силами  $0,5P—P—0,5P$  согласно фиг. 10. В середине длины нижнего пояса будет при этом создано максимальное начальное напряжение, компенсирующее дополнительное напряжение нижнего пояса под расчетной нагрузкой. Таким образом нижнему поясу возможно и бесполезно придать конструктивный подъем второго рода.

Иная картина наблюдается в верхнем поясе. Изгибание досок верхнего пояса возможно только путем действия трех сил на каждую половину пролета порознь, т. е. так, как это показано на фиг. 10. Максимальные начальные напряжения возникают при этом в четвертях пролета, где они совершенно бесполезны ввиду имеющегося здесь и без того запаса в основных напряжениях, в середине же пролета начальные напряжения равны нулю, вследствие чего добавочные напряжения, возникающие в торцевом стыке под расчетной нагрузкой, остаются некомпенсированными. Таким образом для верхнего пояса конструктивный подъем не имеет никакого смысла и не может быть рекомендован. Поэтому для верхнего пояса следует ограничиться устройством обыкновенного строительного подъема двускатного профиля, снабдив конструктивным подъемом второго рода только элементы нижнего пояса балки.

В коробчатых настилах назначение подъема второго рода оправдывается главным образом эстетическими соображениями — желанием избежать неприятного для глаза прогиба покрытия под нагрузкой. Необходимо однако отметить, что это достигается путем известного перерасхода в гвоздях, а иногда и в древесине. Последнее объясняется тем, что вертикальные ребровые доски при устройстве конструктивного подъема второго рода полностью как бы выключаются из работы под расчетной нагрузкой. При значительной мощности ребровых досок момент сопротивления монолитного сечения получается больше момента сопротивления сечения по ф-ле (44).

В гвоздевых составных прогонах по фиг. 11 вопрос о назначении конструктивного подъема того или иного рода получает вполне определенное решение.

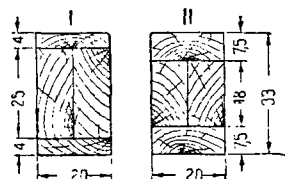
В тех случаях, когда необходимое сечение прогона несколько превосходит размеры, допустимые по сортаменту, целесообразно увеличить предельную допустимую высоту  $h$  монолитных прогонов путем нашивки на них сверху и снизу гвоздями не слишком толстых досок. Таким прогонам следует придавать конструктивный подъем первого рода, рассчитывая их как монолитные. Переход к конструктивному подъему второго рода требует для таких сечений значительно большего расхода гвоздей. На фиг. 12 даны одинаковые поперечные сечения двух прогонов пролетом  $l = 5$  м, несущих одинаковую расчетную нагрузку  $q = 1150$  кг/м при одинаковых расчетных напряжениях. Прогон I, коему придан конструктивный подъем первого рода, требует



Фиг. 11. Сечение прямоугольной составной гвоздевой балки

4,96 кг гвоздей; прогон II, коему придан конструктивный подъем второго рода, требует 16,60 кг гвоздей, т. е. в три с половиной раза больше.

Допуская применение монолитных прогонов, мы с полным правом можем допустить применение в тех же случаях эквивалентных монолитным составных прогонов, имеющих конструктивный строительный подъем первого рода.



Фиг. 13. Балки с тонкими и толстыми поясными досками

Приведенный пример показывает, что в тех случаях, когда нашивные доски получаются не слишком толстыми, следует применять гвоздевые прогоны с подъемом первого рода. В тех же случаях, когда толщина нашивных досок получается значительной, следует переходить на прогоны на пластинчатых нагелях, назначая конструктивный подъем первого или же второго рода главным образом из эстетических соображений, ибо технико-экономические показатели не дают ни одному из них решающих преимуществ.

#### 4. Придание балкам конструктивного строительного подъема

##### 1) Гвоздевые балки ограниченной высоты прямоугольного двутаврового и коробчатого сечения<sup>1</sup>

Балки этого типа, имеющие поперечное сечение по фиг. 13, могут быть различной мощности. Наиболее мощные балки прямоугольного сечения могут иметь высоту до 50 см.

Изготовление балок типа фиг. 13 должно начинаться с заготовки материала, после чего делаются разметка гвоздевого заоба в нашивках и разметка положения диафрагмы в балках коробчатого и двутаврового сечения (фиг. 13, б и в).



Фиг. 13. Сечения гвоздевых балок

Разметку рекомендуется делать с помощью дощатых шаблонов. Для балок типа фиг. 13, а удобный шаблон может быть сделан следующим образом (фиг. 14).

На доску толщиной 4,5 см делается тщательная разметка гвоздевого заоба в нашивках. По этой разметке забиваются точно перпендикулярно к доске гвозди толщиной 3 мм и длиной 50 мм. Уложив шаблон с торчачими из него на 5 мм концами гвоздей на нашивку, можно получить разметку гвоздей путем легкого постукивания по шаблону, дающего на нашивке следы от острых концов гвоздей.

Иначе та же разметка может производиться путем прочерчивания на нашивке продольных рисок с помощью поперечного бруска с забитыми в нем гвоздями (фиг. 14). Поперечные риски на нашивке наносятся при этом обычно с помощью угольника.

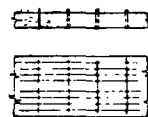
Простейшая установка для изготовления гвоздевых балок может быть выполнена по фиг. 15.

Основой установки являются две сваи А, врытые в землю на взаимном расстоянии, равном пролету балки, и свая К, врытая на равном расстоянии от свай А. Для увеличения надежности и жесткости свай полезно соединять их с поперечными коротышами В, зарытыми близ поверхности земли, неглубоко.

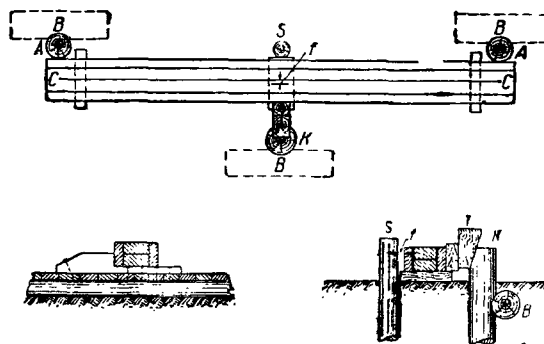
Изгибание элементов балки, предварительно соединенных в середине пролета несколькими гвоздями, производится с помощью клина, забиваемого в зазор между балкой и свайей К.

Величина стрелки выгиба контролируется специальной свайей S, врытой в землю и стесанной таким образом, чтобы зазор между свайей и уложенной балкой равнялся необходимой стрелке выгиба f.

Контроль выгиба можно осуществить также иначе — путем натягивания нити СС между двумя гвоздями С, забитыми в доску стенки (фиг. 15).



Фиг. 14. Шаблон для разметки гвоздей



Фиг. 15. Элементарный станок для придания балкам подъема

Перед изгибанием балки в середине ее пролета от натянутой нити откладывается величина стрелки f и проводится карандашом риска. Балка изгибается до тех пор, пока риска не совпадет с направлением нити.

При наличии на площадке дощатого пола или специального бойка вместо свай могут быть применены упоры из брусьев, прибитые к бойку гвоздями (фиг. 15, слева).

Неудобство сноса, описанного выше, заключается в необходимости забивать гвозди в горизонтальном положении.

При достаточно большом количестве балок целесообразно устроить для их изготовления специальный станок.

Такой станок, предназначенный для изготовления мощных прогонов пролетом до 6 м, изображен на фиг. 16. Станок состоит из двух бревен, прочно врытых в землю, и рамы, образованной четырьмя брусьями сечением 10 × 20 см, соединенными на болтах.

<sup>1</sup> О придании конструктивного строительного подъема балкам на пластинчатых нагелях см. стр. 202—203.



Установка на гвоздях и болтах накладок ребер жесткости завершает сборку.

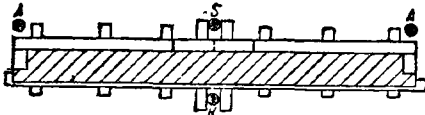
При таком способе сборки половина от всего количества поясных гвоздей не получает начальных напряжений от изгиба поясов, что однако не имеет существенного влияния на работу балки.

Балки с перекрестной стенкой со стыком поясов обычно имеют стык нижнего пояса с деревянными накладками, а иногда и прокладками и стык верхнего пояса — в виде торцевого упора, закрытого короткими нерабочими накладками.

Оба стыка обычно делаются в середине пролета балки.

Для балок такого типа можно рекомендовать следующий порядок сборки.

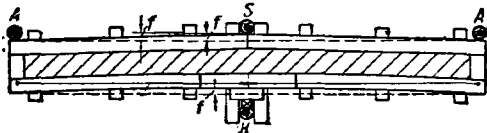
1. В установке, имеющей три упора по типу **фиг. 15**, укладываются все доски нижнего пояса, доски перекрестной стенки и верхние прокладки опорных стоек в положении, изображенном на **фиг. 18**; нижний пояс имеет при этом строго прямое направление.



Фиг. 18. Первая стадия сборки

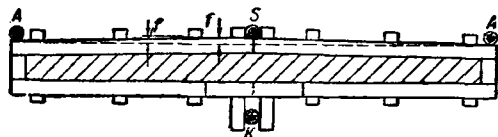
Забиваются все гвозди нижнего пояса, в том числе и стыковые.

2. Нижний пояс вместе с перекрестной стенкой и монтажно укрепленными прокладками опорных стоек переворачивается на другую сторону и забиваются все остальные гвозди нижнего пояса. Укрепляются оставшиеся прокладки опорных стоек и укладываются взаимно пригнанные доски верхнего пояса — с двускатным строительным подъемом со стрелкой *f* в середине пролета (**фиг. 19**).



Фиг. 19. Вторая стадия сборки

Правильность положения досок верхнего пояса легко может быть соблюдена с помощью упора *S*, установленного в середине пролета (**фиг. 19**).



Фиг. 20. Третья стадия сборки

3. В таком положении производится с помощью клина изгибание нижнего пояса. Верхний пояс, опирающийся при этом на упоры *A* и *S*, остается неподвижным (**фиг. 20**).

Контроль стрелки выгиба нижнего пояса производится, как обычно, натяжной нитью, укрепленной на нижнем поясе, или промером высоты балки от упора *S*.

После изгибания нижнего пояса забиваются гвозди верхнего пояса и монтажными гвоздями устанавливаются на место прокладки ребер жесткости с одной стороны.

4. Балка освобождается из станка, снова переворачивается, забиваются остальные гвозди верхнего пояса и устанавливаются с обратной стороны остающиеся прокладки ребер жесткости.

5. Забиваются гвозди в прокладках ребер жесткости, устанавливаются на гвоздях и болтах накладки ребер жесткости и обрезаются выступающие из балки концы досок стенки.

### 3) Двухавровые балки с фанерной стенкой

Двухавровые балки с одиночной фанерной стенкой, имеющие конструктивный строительный подъем, собираются так же, как аналогичные балки с перекрестной стенкой.

Двухавровые балки с двойной фанерной стенкой без стыков собираются следующим образом.

1. В станок укладываются средние доски поясов, соответствующие этим доскам ребра жесткости на опорах и в середине пролета, фанерная стенка, крайние доски поясов со своими ребрами жесткости на опорах и в середине пролета.

Производятся изгибание досок обоих поясов и их прошивка гвоздями.

2. Балка вынимается из станка, снова кладется в станок, укладываются все остальные внутренние элементы ребер жесткости, вторая фанерная стенка, оставшиеся крайние доски поясов и соответствующие этим доскам ребра жесткости на опорах и в середине пролета.

3. Поясные доски изгибаются в станке и пришиваются к остальным элементам балки. Ставятся оставшиеся ребра жесткости и болты.

Двухавровые балки с двойной фанерной стенкой, имеющие стыки поясов, собираются так:

1. Укладываются в станок по схеме **фиг. 18** средние (внутренние) доски нижнего пояса, затем фанерная стенка и наружные доски нижнего пояса вместе со стыковыми накладками. Прошиваются гвозди нижнего пояса с одной стороны.

2. Балка переворачивается на другую сторону (**фиг. 19**), укладываются все внутренние ребра жесткости, присоединяемые к нижнему поясу и стенке монтажными гвоздями, укладывается вторая фанерная стенка и оставшиеся наружные доски нижнего пояса со стыковыми накладками. Забиваются гвозди нижнего пояса. Одновременно укладываются на место согласно **фиг. 19** все доски верхнего пояса балки с двускатным строительным подъемом.

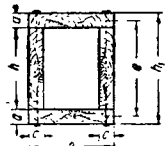
3. С помощью клина изгибается нижний пояс и забиваются гвозди верхнего пояса и ребер жесткости с одной стороны.

4. Балка вынимается из станка, снова переворачивается и забиваются гвозди верхнего пояса и ребер жесткости с другой стороны. Обрезаются края фанеры, и ставятся болты.

### IV. КОРОБЧАТЫЕ БАЛКИ

#### 1. Общие сведения

Невозможность включить настилы и подшивки в работу перекрытий и покрытий обычного типа (по балкам и доскам на ребро) давно требовала изобретения такого покрытия, все элементы которого участвовали бы в работе. Однако большинство предложенных конструкций, аналогичных по работе описанным ниже коробчатым балкам, не позволяло: 1) применить сборный метод производства работ, 2) придать покрытию конструктивный строительный подъем.



Фиг. 1. Поперечное сечение коробчатой балки

Последнее неизбежно приводило к недопустимому провисанию перекрытий. Коробчатые балки лишены указанных недостатков. Изготавливаемые на стороне и заранее утепленные сухим теплоизолятором, они представляют собой элементы сборного перекрытия, которые остаются только уложить на место, вплотную один к другому. Этим элементам без затруднений придется конструктивный строительный подъем, исключающий опасность провисания перекрытия.

Коробчатая балка состоит из двух вертикальных и двух горизонтальных досок, соединенных гвоздями в жесткую коробку (фиг. 1).

Сплошной коробчатый настил может быть рекомендован главным образом для теплых покрытий и для междуэтажных перекрытий с пролетом от 3,5 до 7 м.

В междуэтажных перекрытиях применение коробчатого настила целесообразно лишь при условии полной водонепроницаемости пола (или ковра между половым и коробчатым настилами).

Ввиду относительно малой высоты и неполного использования допускаемых напряжений коробчатые балки имеют сравнительно высокие коэффициенты собственного веса. Они тем экономичнее, чем больше пролет и тяжелее нагрузка.

Таблица 1

Сравнительные данные расхода древесины

| Расчетная нагрузка<br>в кг/м <sup>2</sup> | Расчетный пролет<br>в м | Расход материала  |                              |             |
|---|-------------------------|-------------------|------------------------------|-------------|
|   |                         | коробчатый настил | перекрытие из досок на ребро | разница в % |
| 400                                       | 4,00                    | 0,080             | 0,072                        | -11         |
| 400                                       | 5,00                    | 0,096             | 0,100                        | + 4         |
| 400                                       | 6,00                    | 0,106             | 0,126                        | +12         |
| 500                                       | 4,00                    | 0,90              | 0,677                        | -12         |
| 500                                       | 5,00                    | 0,108             | 0,112                        | + 5         |
| 500                                       | 6,00                    | 0,120             | 0,135                        | +13         |

Для определения экономической эффективности коробчатого настила были произведены сравнительные подсчеты расхода древесины коробчатого настила и междуэтажного перекрытия из досок на ребро с рабочим настилом и подшивкой.

Как видно из этой таблицы, по расходу древесины коробчатый настил при больших пролетах более экономичен.

Чтобы обеспечить совместную работу отдельных балок настила, необходимо соединять смежные балки косо забитыми гвоздями. Та же цель может быть достигнута укладкой поверх балок сплошного дощатого настила перпендикулярно к направлению балок.

#### 2. Расчет коробчатых балок

Даны: полная расчетная нагрузка на перекрытие  $q$  кг/м<sup>2</sup>; погонная нагрузка на балку  $q_1$  кг/м; расчетный пролет балки —  $l$  метров. Изгибающий балку момент:

$$M = \frac{q_1 l^2}{8} \quad (1)$$

Нормальная сила в горизонтальных досках:

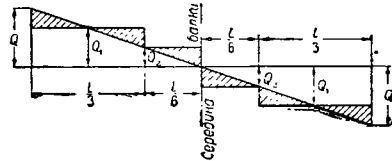
$$N = ab \cdot [n], \quad (2)$$

где  $[n]$  — допускаемое напряжение на сжатие;  $a = c = 8d_{гв}$  — толщина горизонтальных и ребровых досок при одном ряде гвоздей в каждой кромке ребровой доски;  $d_{гв}$  — диаметр принятого гвоздя;  $b$  — ширина коробчатой балки.

Допускаемая погонная нагрузка  $q_1$  на одну балку (по напряжению в древесине) при наличии конструктивного строительного подъема второго рода определяется из равенства моментов  $Ne$  и  $M$  по формуле:

$$q_1 = \frac{8M}{l^2} = \frac{8Ne}{l^2} = \frac{8ab[n]e}{l^2} = \frac{64d_{гв}b[n]e}{l^2} \quad (3)$$

При расчете гвоздей пролет балки разбивается на три равные зоны (фиг. 2)



Фиг. 2. Эпюра размещения гвоздей

Расчет на сдвигающую силу в крайних третях пролета производится по средней величине поперечной силы на этих участках:

$$Q_1 = \frac{2}{3} Q = \frac{2}{3} \cdot \frac{q_1 l}{2} = \frac{q_1 l}{3} \quad (4)$$

В средней трети пролета — по максимальной поперечной силе:

$$Q_2 = \frac{Q_1}{2} = \frac{q_1 l}{6}$$

Расчет на сдвигающую силу производится для балки шириной  $\frac{b}{2}$ , т. е. на один ряд гвоздей.

Сдвигающая сила в крайней трети пролета:

$$T_1 = \frac{Q_1}{e} \cdot \frac{l}{3} \cdot \frac{b}{2} = \frac{ql}{3e} \cdot \frac{l}{3} \cdot \frac{b}{2} = \frac{qbl^2}{18e}. \quad (5)$$

Допускаемое усилие на один срез гвоздя с учетом коэффициента

$$k = 0,9 \cdot 0,8 = 0,72$$

и основным допускаемым напряжениям на смятие дерева:

$$T_{10} = 304d^2 \sqrt{k} = 304d^2 \sqrt{0,72} = 258d^2. \quad (6)$$

Количество гвоздей в одном ряду при расстоянии между ними  $s_1 = id$ :

$$m_1 = \frac{l}{3s_1} = \frac{l}{3id}. \quad (7)$$

Сдвигающая сила, воспринимаемая этими гвоздями:

$$T_1^{10} = m_1 T_{10} = \frac{l}{3id} \cdot 258d^2 = \frac{258il}{3i}.$$

Приравнявая  $T_1 = T_1^{10}$ , получим:

$$\frac{qbl^2}{18e} = \frac{258il}{3i},$$

откуда:

$$e = \frac{3iqlb}{18 \cdot 258d} = 0,000647 \frac{iql}{d} b. \quad (8)$$

Зная нагрузку  $q$ , пролет балки  $l$  и задавшись шириной балки  $b$ , шагом  $s_1$  и диаметром  $d$  гвоздей (а следовательно и толщиной горизонтальных и вертикальных досок  $a = c = 8d$ ), определяем по Ф-ле (8) плечо  $e$  внутренних сил, а затем высоту  $h = e - a$  вертикальных досок.

Определив размеры балки по Ф-ле (8), провернем расчетное напряжение в горизонтальных досках по Ф-ле (3) и находим относительный прогиб  $\frac{f}{l}$  настила под расчетной нагрузкой по формуле:

$$\frac{f}{l} = \frac{5ql^3}{384 \cdot E \psi I_0}, \quad (9)$$

где  $E$  — модуль упругости (для полусухого дерева  $E = 100\,000$  кг/см<sup>2</sup>);

$I_0 = \frac{b(h+2a)^3}{12} - (b-2a)\frac{h^3}{12}$  — момент инерции сечения балки;

$\psi$  — коэффициент уменьшения жесткости балки вследствие податливости гвоздевых сопряжений, можно принимать  $\psi = 0,5$ . Относительный прогиб  $\frac{f}{l}$  рекомендуется принимать: для между-

этажных перекрытий не более  $\frac{1}{300} - \frac{1}{400}$ ; для верхних покрытий на скатах с уклоном более 5° — не более  $\frac{1}{250}$  и в ендовах — не более  $\frac{1}{400} - \frac{1}{600}$ .

### 3. Таблицы элементов коробчатых балок

#### 1) Принципы составления таблиц

При составлении таблиц приняты следующие основные положения:

1. Расчет произведен для балок из полусухой сосны марки II для III класса сооружений.

2. Поправочный коэффициент для допускаемых напряжений на древесину принят равным  $k=0,9 \times 0,8 = 0,72$ .

3. Толщина вертикальных досок  $c = 8d$  принята минимальной для данного диаметра гвозди из условия соблюдения расстояния  $4d$  гвоздей от краев доски.

4. Толщина горизонтальных досок принята максимальной из условия полного использования гвоздя на изгиб:

$$a = a_n = 6,3d : \sqrt{k} = 6,3d : \sqrt{0,72} \approx 8d.$$

5. Допускаемое усилие на один срез гвоздя:

$$T_{10} = 304d^2 : \sqrt{k} = 258d^2.$$

6. Расстояние между гвоздями принято в крайних третях пролета  $s_1 \geq 20d$ , в средней трети пролета  $s_2 = 2s_1 \geq 40d$ .

7. Допускаемый упругий прогиб от полной расчетной нагрузки:

$$f_{упр} = \frac{5ql^4}{384EI} \leq \frac{l}{200},$$

где  $I = 2 \left[ a \cdot b \left( \frac{c}{2} \right)^2 \right] = \frac{Fec^2}{2}$  — момент инерции горизонтальных досок относительно нейтральной оси без учета их моментов инерции относительно собственных осей (момент инерции вертикальных досок вовсе не учитывался)<sup>1</sup>;

$$E = 100\,000 \text{ кг/см}^2.$$

8. Прогиб от сдвигов определен по формуле:

$$f_{сдв} = \frac{\sum \delta l}{3e}.$$

Для определения сдвига величина  $\delta$  принята равной 1,5 мм > 1 мм ввиду некоторого перенапряжения крайних гвоздей.

Так как  $\delta = 1,5$  мм, а швов сдвига два, то

$$f_{сдв} = \frac{\sum \delta l}{3e} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot l}{3e} = \frac{l}{e}.$$

9. Стрела конструктивного строительного подъема в середине пролета:

$$f_{стр} = f_{упр} + f_{сдв} = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI} + \frac{l}{e}.$$

10. При одной и той же нагрузке ширина  $b$  горизонтальных досок (ширина балки) принята равной 18, 20, 22 и 24 см.

11. Для каждой балки при одной и той же нагрузке было принято три возможных диаметра гвоздей.

12. Ввиду неопределенности и малых размеров площади опирания балки расчетный пролет  $l$  в запас прочности принимался равным полной длине балки  $l_1$ .

Таблицы позволяют подобрать сечение балки по заданным пролету, нагрузке и диаметру гвоздей или при заданном сечении досок, определить необходимые размеры балки и количество гвоздей. При свободном выборе сортамента лесного материала следует применять балки с наименьшими  $k_{св}$ . При подборе балок следует также обра-

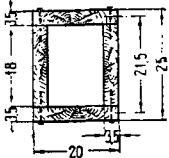
<sup>1</sup> Фактически исключенный так прогиб  $f_{упр}$  включает в себя кроме прогиба от нагрузки еще и величину расширения балки после ее изготовления. *Ред.*

<sup>2</sup> По этой формуле была подсчитана стрелка  $f_{стр}$  в таблицах, приведенных на стр. 177 и след.

обратить внимание на графу  $q_{гв}$  кг/м<sup>2</sup> и подбирать балки, для которых количество гвоздей наименьшее<sup>1</sup>.

## 2) Пример пользования таблицами

Дано: расчетный пролет балки  $l = 6,00$  м; расчетная нагрузка  $p = g_{св} + p + g = 600$  кг/м<sup>2</sup>; допустимый прогиб:



Фиг. 3. Сечение балки пролетом 6 м

$$\frac{f}{l} \leq \frac{1}{250}.$$

Требуется определить сечение балки.

Задаемся размерами гвоздей:  $d = 4,5$  мм,  $l_{гв} = 90$  мм и шириной досок  $b = 20$  см.

В табл. 14 для этих данных находим балку № 294 фиг. 3 с размерами:

толщина горизонтальных досок . . .  $a = 3,5$  см  
 » вертикальных » . . .  $c = 3,5$  »  
 высота » . . .  $h = 18$  »  
 расстояние между гвоздями:

в крайних третях пролета  $s_1 = 9,5$  см;

в средней трети  $s_2 = 19$  см.

Количество гвоздей на всю балку  $m = 210$  шт.

Коэффициент собственного веса  $k_{св} = 21,4$ , вес всей балки  $G_{св} = 91$  кг.

Приведенный вес гвоздей  $g_{гв} = 1,96$  кг/м<sup>2</sup>.

Стрела конструктивного строительного подъема:

$$f_{стр} = 4,03 \text{ см.}$$

Проверяем относительный прогиб балки по Ф-ле (9):

$$I_0 = \frac{20 \cdot 25^3}{12} - 13 \frac{18^3}{12} = 19\,720 \text{ см}^4;$$

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot 0,2 \cdot 6 \cdot 600^2}{384 \cdot 100\,000 \cdot 0,5 \cdot 19\,720} = \frac{1}{291} < \frac{1}{250}.$$

## 3) Поперечный расчет балки

Дано: расчетный пролет  $l = 6,00$  м; расчетная нагрузка  $q_0 = 600$  кг/м<sup>2</sup>; ширина балки  $b = 20$  см; сечение горизонтальных досок  $a \times b = 3,5 \cdot 20$  см<sup>2</sup>; сечение вертикальных досок  $c \times h = 3,5 \cdot 18$  см<sup>2</sup>; гвозди:  $d = 4,5$  мм;  $l_{гв} = 90$  мм. Поправочный коэффициент для древесины:

$$k = 0,8 \cdot 0,9 = 0,72,$$

$$\sqrt{k} = \sqrt{0,72} = 0,85.$$

Усилие, воспринимаемое одним гвоздем:

$$1. \quad T_{гв} = T_{гв}^0 \sqrt{k} = 62 \cdot 0,85 = 52,6 \text{ кг.}$$

$$2. \quad T_{гв} = 0,6 \cdot a \cdot d [n_{см}] k = 0,6 \cdot 3,5 \cdot 0,45 \cdot 80 \cdot 0,72 = 54 \text{ кг.}$$

Погонная нагрузка:

$$q_1 = 600 \cdot 0,20 = 120 \text{ кг/м} = 1,20 \text{ кг/см.}$$

Изгибающий момент:

$$M = \frac{q_1 l^2}{8} = \frac{1,20 \cdot 600^2}{8} = 54\,000 \text{ кгсм.}$$

<sup>1</sup> Ввиду недостаточной жесткости балок, помещенных в таблицах, особенно при малых нагрузках и больших пролетах, рекомендуется в каждом отдельном случае проверять жесткость балок по Ф-ле (9).

В случае неудовлетворительной жесткости балок, имеющих в таблицах, следует от пользования таблицами отказаться и подобрать сечение по вышеприведенным Ф-лам (8), (3), и (9), уменьшая до необходимой величины диаметр гвоздей и толщину досок и, если нужно, увеличивая шаг гвоздей  $s_1 = id$  Ред.

Нормальная сила:

$$N = \frac{M}{e} = \frac{54\,000}{21,5} = 2\,511 \text{ кг.}$$

Напряжение:

$$n = \frac{N}{F} = \frac{2\,511}{20 \cdot 3,5} = 35,8 \text{ кг/см}^2.$$

Поперечная сила:

$$Q = \frac{q_1 l}{2} = \frac{120 \cdot 6,00}{2} = 360 \text{ кг.}$$

$$Q_1 = \frac{2}{3} Q = \frac{2}{3} \cdot 360 = 240 \text{ кг.}$$

$$T_1 = \frac{Q_1}{e} \cdot \frac{l}{3} = \frac{240}{21,5} \cdot \frac{600}{3} = 2\,232 \text{ кг.}$$

Количество гвоздей в первой трети пролета:

$$m_1 = \frac{2T_1}{l_{гв}} = \frac{2 \cdot 2\,232}{90} = 2 \cdot 42 = 84.$$

Количество гвоздей в средней трети пролета:

$$m_2 = \frac{m_1}{2} = \frac{84}{2} = 42.$$

Общее количество гвоздей:

$$m = 2m_1 + m_2 = 2 \cdot 84 + 42 = 210.$$

Вес гвоздей:

$$G_{гв} = 11,2 \cdot 0,21 = 2,35 \text{ кг.}$$

Вес древесины — 88 кг.

Вес всей балки:

$$G_{св} = 88 + 2,35 \approx 91 \text{ кг.}$$

Коэффициент собственного веса балки:

$$k_{св} = \frac{1\,000}{6,00 \cdot 120} \cdot \frac{91}{6,00} = 21,1.$$

Приведенный расход гвоздей в кг/м<sup>2</sup>:

$$g_{гв} = \frac{2,35}{6 \cdot 0,2} = 1,96 \text{ кг/м}^2;$$

$$f_{гв} = \frac{5q_1 l^4}{384EI} = \frac{5q_1 l^4 \cdot 2}{384E l^2} = \frac{5 \cdot 1,20 \cdot 600^4 \cdot 2}{384 \cdot 100\,000 \cdot 20 \cdot 3,5 \cdot 21,5^2} = 1,15 \text{ см.}$$

$$f_{стр} = f_{гв} + f_{св} = \frac{5q_1 l^4}{384EI} + \frac{1}{e} = 1,15 + \frac{600}{21,5} = 1,15 + 2,88 = 4,03 \text{ см.}$$

## Условные обозначения, принятые в таблицах

$l$  — расчетный пролет балки;

$l_1$  — полная длина балки;

$a$  — толщина горизонтальных досок;

$b$  — ширина горизонтальных досок;

$c$  — толщина вертикальных досок;

$h$  — высота вертикальных досок;

$h_1 = h + 2a$  — полная высота балки;

$d$  — диаметр гвоздя;

$l_{гв}$  — длина гвоздя;

$s_1$  — расстояние между гвоздями в крайних третях пролета;

$s_2 = 2s_1$  — расстояние между гвоздями в средней трети пролета;

$m$  — количество гвоздей на всю балку;

$G$  — вес одной балки<sup>2</sup>;

<sup>2</sup> Продолжение текста на стр. 186.

Данные для проектирования коровчатого настила

Таблица 2

$l = 3,50 \text{ м}$

| № П/П | $q$<br>в кг/м <sup>2</sup> | $R_{ce}$ | $a = c$<br>в см | $b$<br>в см | $h_1$<br>в см | $d_{ce}$<br>в мм | $l_{ce}$<br>в мм | $s_1$<br>в см | $m$ | $f_{cnp}$<br>в см | $P + g$<br>в кг/м <sup>2</sup> | $g_{ce}$<br>в кг/м <sup>2</sup> | $g_{ce}$<br>в кг/м <sup>2</sup> | $G_{ce}$<br>в кг |
|-------|----------------------------|----------|-----------------|-------------|---------------|------------------|------------------|---------------|-----|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
| 1     | 700                        | 24       | 3               | 18          | 20            | 3,5              | 70               | 7,5           | 150 | 2,38              | 640                            | 60                              | 1,25                            | 38               |
| 2     | 700                        | 24       | 3               | 20          | 22            | 3,5              | 70               | 7,5           | 150 | 2,09              | 638                            | 62                              | 1,14                            | 43               |
| 3     | 700                        | 23       | 3               | 22          | 24            | 3,5              | 70               | 7,5           | 150 | 1,88              | 638                            | 62                              | 1,04                            | 43               |
| 4     | 700                        | 25,5     | 3               | 24          | 26            | 3,5              | 70               | 7,5           | 150 | 1,71              | 631                            | 69                              | 0,95                            | 58               |
| 5     | 600                        | 28       | 3               | 18          | 18            | 3,5              | 70               | 7,5           | 150 | 2,68              | 541                            | 59                              | 1,25                            | 37               |
| 6     | 600                        | 27,2     | 3               | 20          | 20            | 3,5              | 70               | 8             | 145 | 2,33              | 543                            | 57                              | 1,10                            | 40               |
| 7     | 600                        | 27,8     | 3               | 22          | 22            | 3,5              | 70               | 8             | 145 | 2,06              | 542                            | 58                              | 1,00                            | 45               |
| 8     | 600                        | 31,2     | 3               | 24          | 24            | 3,5              | 70               | 8             | 145 | 1,85              | 534                            | 66                              | 0,92                            | 55               |
| 9     | 500                        | 27,2     | 2,5             | 18          | 17            | 3                | 60               | 6,5           | 178 | 2,78              | 452                            | 48                              | 0,93                            | 30               |
| 10    | 500                        | 27,8     | 2,5             | 20          | 19            | 3                | 60               | 6,5           | 178 | 2,41              | 451                            | 49                              | 0,84                            | 34               |
| 11    | 500                        | 27,4     | 2,5             | 22          | 21            | 3                | 60               | 7             | 165 | 2,12              | 452                            | 48                              | 0,71                            | 37               |
| 12    | 500                        | 27,9     | 2,5             | 24          | 23            | 3                | 60               | 7             | 165 | 1,90              | 451                            | 49                              | 0,65                            | 41               |
| 13    | 400                        | 29,5     | 2,5             | 18          | 13            | 3                | 60               | 6             | 190 | 3,90              | 359                            | 41                              | 0,99                            | 26               |
| 14    | 400                        | 30,6     | 2,5             | 20          | 15            | 3                | 60               | 6             | 190 | 3,20              | 357                            | 43                              | 0,90                            | 30               |
| 15    | 400                        | 31,5     | 2,5             | 22          | 17            | 3                | 60               | 6,5           | 178 | 2,71              | 356                            | 44                              | 0,76                            | 34               |
| 16    | 400                        | 31,5     | 2,5             | 24          | 19            | 3                | 60               | 7             | 165 | 2,35              | 356                            | 44                              | 0,65                            | 37               |
| 17    | 300                        | 39,3     | 2,5             | 18          | 13            | 2,6              | 60               | 6             | 190 | 3,76              | 259                            | 41                              | 0,75                            | 26               |
| 18    | 300                        | 38       | 2,5             | 20          | 13            | 2,6              | 60               | 5             | 235 | 3,76              | 260                            | 40                              | 0,84                            | 28               |
| 19    | 300                        | 38,3     | 2,5             | 22          | 15            | 2,6              | 60               | 5,5           | 210 | 3,10              | 260                            | 40                              | 0,68                            | 31               |
| 20    | 300                        | 37,4     | 2,5             | 24          | 15            | 2,6              | 60               | 5             | 235 | 3,10              | 261                            | 39                              | 0,70                            | 33               |
| 21    | 200                        | 56,7     | 2,5             | 18          | 13            | 2,6              | 60               | 11            | 105 | 3,61              | 160                            | 40                              | 0,42                            | 25               |
| 22    | 200                        | 55,1     | 2,5             | 20          | 13            | 2,6              | 60               | 9             | 128 | 3,61              | 161                            | 39                              | 0,46                            | 27               |
| 23    | 200                        | 53,8     | 2,5             | 22          | 13            | 2,6              | 60               | 8             | 145 | 3,61              | 162                            | 38                              | 0,47                            | 29               |
| 24    | 200                        | 52,7     | 2,5             | 24          | 13            | 2,6              | 60               | 7             | 165 | 3,61              | 163                            | 37                              | 0,49                            | 31               |

$l = 3,50 \text{ м}$

Таблица 3

| № П/П | $q$<br>в кг/м <sup>2</sup> | $R_{ce}$ | $a$<br>в см | $b$<br>в см | $h_1$<br>в см | $d_{ce}$<br>в мм | $l_{ce}$<br>в мм | $s_1$<br>в см | $m$ | $f_{cnp}$<br>в см | $P + g$<br>в кг/м <sup>2</sup> | $g_{ce}$<br>в кг/м <sup>2</sup> | $g_{ce}$<br>в кг/м <sup>2</sup> | $G_{ce}$<br>в кг |
|-------|----------------------------|----------|-------------|-------------|---------------|------------------|------------------|---------------|-----|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
| 25    | 700                        | 23,2     | 3           | 18          | 18            | 4                | 80               | 8,5           | 135 | 2,74              | 643                            | 57                              | 1,70                            | 36               |
| 26    | 700                        | 23,9     | 3           | 20          | 20            | 4                | 80               | 8,5           | 135 | 2,38              | 641                            | 59                              | 1,52                            | 41               |
| 27    | 700                        | 23,8     | 3           | 22          | 22            | 4                | 80               | 9             | 128 | 2,09              | 641                            | 59                              | 1,31                            | 45               |
| 28    | 700                        | 27,2     | 3           | 24          | 24            | 4                | 80               | 9             | 128 | 1,88              | 633                            | 67                              | 1,20                            | 56               |
| 29    | 600                        | 25,7     | 3           | 18          | 16            | 4                | 80               | 9             | 128 | 3,15              | 546                            | 54                              | 1,60                            | 34               |
| 30    | 600                        | 25,8     | 3           | 20          | 18            | 4                | 80               | 9             | 128 | 2,68              | 546                            | 54                              | 1,45                            | 38               |
| 31    | 600                        | 26,6     | 3           | 22          | 20            | 4                | 80               | 9,5           | 120 | 2,33              | 544                            | 56                              | 1,23                            | 48               |
| 32    | 600                        | 30       | 3           | 24          | 22            | 4                | 80               | 10            | 115 | 2,06              | 537                            | 63                              | 1,08                            | 53               |
| 33    | 500                        | 30       | 3           | 18          | 16            | 3,5              | 70               | 8             | 145 | 3,08              | 448                            | 52                              | 1,22                            | 33               |
| 34    | 500                        | 31       | 3           | 20          | 18            | 3,5              | 70               | 8,5           | 135 | 2,62              | 446                            | 54                              | 1,02                            | 38               |
| 35    | 500                        | 31,9     | 3           | 22          | 20            | 3,5              | 70               | 9             | 128 | 2,29              | 444                            | 56                              | 0,89                            | 43               |
| 36    | 500                        | 36,1     | 3           | 24          | 22            | 3,5              | 70               | 9             | 128 | 2,02              | 437                            | 63                              | 0,81                            | 53               |
| 37    | 400                        | 35,2     | 3           | 18          | 14            | 3,5              | 70               | 9             | 128 | 3,61              | 351                            | 49                              | 1,07                            | 31               |
| 38    | 400                        | 33,7     | 3           | 20          | 14            | 3,5              | 70               | 8             | 145 | 3,61              | 353                            | 47                              | 1,10                            | 33               |
| 39    | 400                        | 33,4     | 3           | 22          | 14            | 3,5              | 70               | 7             | 165 | 3,61              | 353                            | 47                              | 1,13                            | 36               |
| 40    | 400                        | 39,1     | 3           | 24          | 16            | 3,5              | 70               | 7,5           | 140 | 3                 | 345                            | 56                              | 0,98                            | 43               |
| 41    | 300                        | 39,3     | 2,5         | 18          | 13            | 3                | 60               | 8,5           | 135 | 3,76              | 259                            | 41                              | 0,72                            | 26               |
| 42    | 300                        | 38,1     | 2,5         | 20          | 13            | 3                | 60               | 7,5           | 140 | 3,76              | 260                            | 40                              | 0,67                            | 28               |
| 43    | 300                        | 37,1     | 2,5         | 22          | 13            | 3                | 60               | 6,5           | 178 | 3,76              | 261                            | 39                              | 0,77                            | 30               |
| 44    | 300                        | 38,5     | 2,5         | 24          | 15            | 3                | 60               | 7             | 165 | 3,10              | 259                            | 41                              | 0,66                            | 34               |
| 45    | 200                        | 56,7     | 2,5         | 18          | 13            | 3                | 60               | 16,5          | 70  | 3,61              | 160                            | 40                              | 0,37                            | 25               |
| 46    | 200                        | 55,1     | 2,5         | 20          | 13            | 3                | 60               | 13,5          | 85  | 3,61              | 164                            | 38                              | 0,40                            | 27               |
| 47    | 200                        | 53,8     | 2,5         | 22          | 13            | 3                | 60               | 11,5          | 100 | 3,61              | 162                            | 38                              | 0,42                            | 29               |
| 48    | 200                        | 52,7     | 2,5         | 24          | 13            | 3                | 60               | 10            | 115 | 3,61              | 163                            | 37                              | 0,46                            | 31               |



Таблица 4

l = 3,50 м

| № П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | k <sub>св</sub> | a    |      | b    |      | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>св</sub><br>в мм | l <sub>св</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>сгр</sub><br>в см | p + g<br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|-------|--------------------------|-----------------|------|------|------|------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|--------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------|
|       |                          |                 | в см | в см | в см | в см |                        |                         |                         |                        |     |                          |                              |  |  |                         |
| 49    | 700                      | 25,5            | 3,5  | 18   | 17   | 4,5  | 90                     | 10                      | 115                     | 3,02                   | 638 | 62                       | 2,00                         | 39                                     |  |                         |
| 50    | 700                      | 26,2            | 3,5  | 20   | 19   | 4,5  | 90                     | 10,5                    | 110                     | 2,55                   | 536 | 64                       | 1,76                         | 45                                     |  |                         |
| 51    | 700                      | 26,5            | 3,5  | 22   | 21   | 4,5  | 90                     | 11,5                    | 100                     | 2,27                   | 635 | 65                       | 1,45                         | 50                                     |  |                         |
| 52    | 700                      | 26,7            | 3,5  | 24   | 23   | 4,5  | 90                     | 12                      | 105                     | 2,00                   | 634 | 66                       | 1,40                         | 55                                     |  |                         |
| 53    | 600                      | 23              | 3,5  | 18   | 15   | 4,5  | 90                     | 9                       | 128                     | 3,55                   | 541 | 59                       | 2,28                         | 37                                     |  |                         |
| 54    | 600                      | 23,6            | 3,5  | 20   | 17   | 4,5  | 90                     | 10,5                    | 110                     | 2,96                   | 540 | 60                       | 1,76                         | 42                                     |  |                         |
| 55    | 600                      | 23              | 3,5  | 22   | 19   | 4,5  | 90                     | 11                      | 105                     | 2,56                   | 539 | 61                       | 1,52                         | 47                                     |  |                         |
| 56    | 600                      | 20              | 3,5  | 24   | 21   | 4,5  | 90                     | 11,5                    | 100                     | 2,22                   | 537 | 63                       | 1,33                         | 53                                     |  |                         |
| 57    | 500                      | 28,2            | 3    | 18   | 14   | 4    | 80                     | 9                       | 123                     | 3,72                   | 541 | 49                       | 1,57                         | 31                                     |  |                         |
| 58    | 500                      | 29,4            | 3    | 20   | 16   | 4    | 80                     | 9,5                     | 120                     | 3,08                   | 449 | 51                       | 1,35                         | 36                                     |  |                         |
| 59    | 500                      | 29,7            | 3    | 22   | 18   | 4    | 80                     | 10                      | 115                     | 2,62                   | 448 | 52                       | 1,18                         | 40                                     |  |                         |
| 60    | 500                      | 34,7            | 3    | 24   | 20   | 4    | 80                     | 10,5                    | 110                     | 2,29                   | 439 | 61                       | 0,94                         | 51                                     |  |                         |
| 61    | 400                      | 35,2            | 3    | 18   | 14   | 4    | 80                     | 12,5                    | 90                      | 3,61                   | 351 | 49                       | 1,24                         | 31                                     |  |                         |
| 62    | 400                      | 33,7            | 3    | 20   | 14   | 4    | 80                     | 10,5                    | 110                     | 3,61                   | 353 | 47                       | 1,22                         | 33                                     |  |                         |
| 63    | 400                      | 33,4            | 3    | 22   | 14   | 4    | 80                     | 9                       | 128                     | 3,61                   | 353 | 47                       | 1,29                         | 36                                     |  |                         |
| 64    | 400                      | 37,4            | 3    | 24   | 14   | 4    | 80                     | 8                       | 145                     | 3,61                   | 348 | 52                       | 1,35                         | 44                                     |  |                         |
| 65    | 300                      | 46,8            | 3    | 18   | 14   | 3,5  | 70                     | 14                      | 80                      | 3,50                   | 251 | 49                       | 0,67                         | 31                                     |  |                         |
| 66    | 300                      | 45              | 3    | 20   | 14   | 3,5  | 70                     | 11,5                    | 100                     | 3,5                    | 253 | 47                       | 0,76                         | 33                                     |  |                         |
| 67    | 300                      | 43,2            | 3    | 22   | 14   | 3,5  | 70                     | 10                      | 115                     | 3,50                   | 255 | 45                       | 0,79                         | 35                                     |  |                         |
| 68    | 300                      | 54,4            | 3    | 24   | 14   | 3,5  | 70                     | 8,5                     | 135                     | 3,50                   | 243 | 57                       | 0,85                         | 48                                     |  |                         |
| 69    | 200                      | 68,0            | 3    | 18   | 14   | 3,5  | 70                     | 33                      | 30                      | 3,40                   | 152 | 48                       | 0,29                         | 30                                     |  |                         |
| 70    | 200                      | 67,4            | 3    | 20   | 14   | 3,5  | 70                     | 25                      | 33                      | 3,40                   | 153 | 47                       | 0,34                         | 33                                     |  |                         |
| 71    | 200                      | 65,0            | 3    | 22   | 14   | 3,5  | 70                     | 20                      | 35                      | 3,40                   | 155 | 45                       | 0,40                         | 35                                     |  |                         |
| 72    | 200                      | 73              | 3    | 24   | 14   | 3,5  | 70                     | 17,5                    | 43                      | 3,40                   | 149 | 51                       | 0,41                         | 43                                     |  |                         |

Таблица 5

l = 4,00 м

| № П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | k <sub>св</sub> | a    |      | b    |      | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>св</sub><br>в мм | l <sub>св</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>сгр</sub><br>в см | p + g<br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|-------|--------------------------|-----------------|------|------|------|------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|--------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------|
|       |                          |                 | в см | в см | в см | в см |                        |                         |                         |                        |     |                          |                              |  |  |                         |
| 73    | 700                      | 22,8            | 3    | 18   | 22   | 3,5  | 70                     | 7                       | 190                     | 2,54                   | 636 | 64                       | 1,40                         | 46                                     |  |                         |
| 74    | 700                      | 23,2            | 3    | 20   | 24   | 3,5  | 70                     | 7                       | 190                     | 2,26                   | 635 | 65                       | 1,26                         | 52                                     |  |                         |
| 75    | 700                      | 23,2            | 3    | 22   | 26   | 3,5  | 70                     | 7                       | 190                     | 1,99                   | 635 | 65                       | 1,15                         | 57                                     |  |                         |
| 76    | 700                      | 23              | 3    | 24   | 28   | 3,5  | 70                     | 7                       | 190                     | 1,85                   | 635 | 65                       | 1,05                         | 62                                     |  |                         |
| 77    | 600                      | 24,9            | 3    | 18   | 20   | 3,5  | 70                     | 7,5                     | 175                     | 2,71                   | 540 | 60                       | 1,30                         | 43                                     |  |                         |
| 78    | 600                      | 25,5            | 3    | 20   | 22   | 3,5  | 70                     | 7,5                     | 175                     | 2,48                   | 539 | 61                       | 1,16                         | 49                                     |  |                         |
| 79    | 600                      | 25,6            | 3    | 22   | 24   | 3,5  | 70                     | 7,5                     | 175                     | 2,21                   | 539 | 61                       | 1,06                         | 54                                     |  |                         |
| 80    | 600                      | 25,6            | 3    | 24   | 26   | 3,5  | 70                     | 7,5                     | 175                     | 1,99                   | 538 | 62                       | 0,97                         | 59                                     |  |                         |
| 81    | 500                      | 25              | 2,5  | 18   | 19   | 3    | 60                     | 6,5                     | 203                     | 2,90                   | 450 | 50                       | 0,95                         | 36                                     |  |                         |
| 82    | 500                      | 25,6            | 2,5  | 20   | 21   | 3    | 60                     | 6,5                     | 203                     | 2,55                   | 450 | 50                       | 0,85                         | 41                                     |  |                         |
| 83    | 500                      | 25,6            | 2,5  | 22   | 23   | 3    | 60                     | 6,5                     | 203                     | 2,70                   | 449 | 51                       | 0,73                         | 45                                     |  |                         |
| 84    | 500                      | 25,5            | 2,5  | 24   | 25   | 3    | 60                     | 6,5                     | 203                     | 2,04                   | 449 | 51                       | 0,71                         | 49                                     |  |                         |
| 85    | 400                      | 27,8            | 2,5  | 18   | 15   | 3    | 60                     | 6,0                     | 220                     | 3,89                   | 355 | 45                       | 1,01                         | 32                                     |  |                         |
| 86    | 400                      | 28,1            | 2,5  | 20   | 17   | 3    | 60                     | 6,5                     | 203                     | 3,27                   | 355 | 45                       | 0,85                         | 36                                     |  |                         |
| 87    | 400                      | 29,1            | 2,5  | 22   | 19   | 3    | 60                     | 6,5                     | 203                     | 2,81                   | 353 | 47                       | 0,77                         | 41                                     |  |                         |
| 88    | 400                      | 29,3            | 2,5  | 24   | 21   | 3    | 60                     | 6,5                     | 203                     | 2,47                   | 353 | 47                       | 0,70                         | 45                                     |  |                         |
| 89    | 300                      | 33,5            | 2,5  | 18   | 13   | 2,6  | 60                     | 5                       | 265                     | 4,54                   | 260 | 40                       | 0,62                         | 29                                     |  |                         |
| 90    | 300                      | 33,4            | 2,5  | 20   | 15   | 2,6  | 60                     | 5,5                     | 240                     | 3,71                   | 257 | 43                       | 0,75                         | 34                                     |  |                         |
| 91    | 300                      | 36              | 2,5  | 22   | 17   | 2,6  | 60                     | 5,5                     | 240                     | 3,14                   | 257 | 43                       | 0,58                         | 38                                     |  |                         |
| 92    | 300                      | 36,5            | 2,5  | 24   | 19   | 2,6  | 60                     | 6                       | 220                     | 2,17                   | 256 | 44                       | 0,62                         | 42                                     |  |                         |
| 93    | 200                      | 50,3            | 2,5  | 18   | 13   | 2,6  | 60                     | 9                       | 145                     | 4,29                   | 160 | 40                       | 0,50                         | 29                                     |  |                         |
| 94    | 200                      | 48,5            | 2,5  | 20   | 13   | 2,6  | 60                     | 7,5                     | 175                     | 4,29                   | 161 | 39                       | 0,55                         | 31                                     |  |                         |
| 95    | 200                      | 48,3            | 2,5  | 22   | 13   | 2,6  | 60                     | 6,5                     | 203                     | 4,29                   | 161 | 39                       | 0,58                         | 34                                     |  |                         |
| 96    | 200                      | 46,9            | 2,5  | 24   | 13   | 2,6  | 60                     | 6,0                     | 220                     | 4,29                   | 162 | 38                       | 0,58                         | 36                                     |  |                         |

Таблица 6

$l = 4,00 \text{ м}$

| № П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | R <sub>св</sub> | a<br>в см | b<br>в см | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>16</sub><br>в мм | l <sub>16</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>стр</sub><br>в см | p + g<br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>16</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|-------|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|--------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------|
|       |                          |                 |           |           |                        |                         |                         |                        |     |                          |                              |  |  |                         |
| 97    | 700                      | 21,3            | 3         | 18        | 20                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 155 | 2,89                     | 640                          | 60                                     | 1,70                                   | 43                      |
| 98    | 700                      | 21,9            | 3         | 20        | 22                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 155 | 2,54                     | 639                          | 61                                     | 1,53                                   | 49                      |
| 99    | 700                      | 21,9            | 3         | 22        | 24                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 155 | 2,29                     | 639                          | 61                                     | 1,39                                   | 54                      |
| 100   | 700                      | 22,3            | 3         | 24        | 26                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 155 | 2,03                     | 637                          | 63                                     | 1,27                                   | 60                      |
| 101   | 600                      | 23,7            | 3         | 18        | 18                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 155 | 3,26                     | 543                          | 57                                     | 1,70                                   | 41                      |
| 102   | 600                      | 24              | 3         | 20        | 20                     | 4                       | 80                      | 9                      | 145 | 2,91                     | 542                          | 58                                     | 1,43                                   | 46                      |
| 103   | 600                      | 23,2            | 3         | 22        | 20                     | 4                       | 80                      | 8                      | 165 | 2,81                     | 544                          | 56                                     | 1,43                                   | 49                      |
| 104   | 600                      | 23,4            | 3         | 24        | 22                     | 4                       | 80                      | 8                      | 165 | 2,48                     | 544                          | 56                                     | 1,35                                   | 54                      |
| 105   | 500                      | 26,4            | 3         | 18        | 16                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 190 | 3,73                     | 447                          | 53                                     | 1,39                                   | 38                      |
| 106   | 500                      | 27,5            | 3         | 20        | 18                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 190 | 3,16                     | 445                          | 55                                     | 1,25                                   | 44                      |
| 107   | 500                      | 27,8            | 3         | 22        | 20                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 175 | 2,74                     | 446                          | 56                                     | 1,05                                   | 49                      |
| 108   | 500                      | 28,1            | 3         | 24        | 22                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 175 | 2,42                     | 446                          | 56                                     | 0,96                                   | 54                      |
| 109   | 400                      | 31,3            | 3         | 18        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 175 | 4,37                     | 350                          | 50                                     | 1,28                                   | 36                      |
| 110   | 400                      | 32              | 3         | 20        | 16                     | 3,5                     | 70                      | 8                      | 165 | 3,60                     | 350                          | 50                                     | 1,09                                   | 41                      |
| 111   | 400                      | 32,7            | 3         | 22        | 18                     | 3,5                     | 70                      | 9,5                    | 130 | 3,07                     | 349                          | 52                                     | 0,78                                   | 46                      |
| 112   | 400                      | 33,9            | 3         | 24        | 20                     | 3,5                     | 70                      | 8,5                    | 155 | 2,66                     | 346                          | 54                                     | 0,85                                   | 52                      |
| 113   | 300                      | 33,5            | 2,5       | 18        | 13                     | 3                       | 60                      | 7                      | 190 | 4,54                     | 260                          | 40                                     | 0,88                                   | 29                      |
| 114   | 300                      | 33,3            | 2,5       | 20        | 13                     | 3                       | 60                      | 6                      | 220 | 4,54                     | 256                          | 44                                     | 0,92                                   | 32                      |
| 115   | 300                      | 34,1            | 2,5       | 22        | 15                     | 3                       | 60                      | 7                      | 190 | 3,71                     | 259                          | 41                                     | 0,72                                   | 36                      |
| 116   | 300                      | 34,7            | 2,5       | 24        | 17                     | 3                       | 60                      | 10                     | 131 | 3,14                     | 253                          | 42                                     | 0,45                                   | 40                      |
| 117   | 200                      | 52              | 2,5       | 18        | 13                     | 3                       | 60                      | 13,5                   | 98  | 4,29                     | 158                          | 42                                     | 0,45                                   | 80                      |
| 118   | 200                      | 48,5            | 2,5       | 20        | 13                     | 3                       | 60                      | 11                     | 120 | 4,29                     | 161                          | 39                                     | 0,50                                   | 31                      |
| 119   | 200                      | 48,3            | 2,5       | 22        | 13                     | 3                       | 60                      | 9,5                    | 130 | 4,29                     | 161                          | 39                                     | 0,49                                   | 34                      |
| 120   | 200                      | 46,9            | 2,5       | 24        | 13                     | 3                       | 60                      | 8,5                    | 135 | 4,29                     | 162                          | 38                                     | 0,54                                   | 36                      |

$l = 4,00 \text{ м}$

Таблица 7

| № П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | R <sub>св</sub> | a<br>в см | b<br>в см | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>16</sub><br>в мм | l <sub>16</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>стр</sub><br>в см | p + g<br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>16</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|-------|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|--------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------|
|       |                          |                 |           |           |                        |                         |                         |                        |     |                          |                              |  |  |                         |
| 121   | 700                      | 23,8            | 3,5       | 18        | 19                     | 4,5                     | 90                      | 10                     | 133 | 3,13                     | 633                          | 67                                     | 2,06                                   | 48                      |
| 122   | 700                      | 24,1            | 3,5       | 20        | 21                     | 4,5                     | 90                      | 10                     | 133 | 3,01                     | 632                          | 68                                     | 1,86                                   | 54                      |
| 123   | 700                      | 23,1            | 3,5       | 22        | 21                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 145 | 2,75                     | 635                          | 65                                     | 1,85                                   | 57                      |
| 124   | 700                      | 23,8            | 3,5       | 24        | 23                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 145 | 2,40                     | 633                          | 67                                     | 1,89                                   | 64                      |
| 125   | 600                      | 26              | 3,5       | 18        | 17                     | 4,5                     | 90                      | 10                     | 133 | 3,59                     | 538                          | 62                                     | 2,06                                   | 45                      |
| 126   | 600                      | 28,6            | 3,5       | 20        | 19                     | 4,5                     | 90                      | 11                     | 120 | 3,05                     | 536                          | 64                                     | 1,68                                   | 51                      |
| 127   | 600                      | 23,6            | 3,5       | 22        | 19                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 145 | 3,05                     | 539                          | 61                                     | 1,85                                   | 54                      |
| 128   | 600                      | 26              | 3,5       | 24        | 21                     | 4,5                     | 90                      | 10                     | 133 | 2,65                     | 537                          | 63                                     | 1,55                                   | 60                      |
| 129   | 500                      | 25              | 3         | 18        | 14                     | 4                       | 80                      | 8                      | 165 | 4,56                     | 450                          | 50                                     | 1,78                                   | 36                      |
| 130   | 500                      | 23,6            | 3         | 20        | 16                     | 4                       | 80                      | 8                      | 165 | 3,73                     | 450                          | 50                                     | 1,63                                   | 41                      |
| 131   | 500                      | 26,1            | 3         | 22        | 18                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 155 | 3,16                     | 448                          | 52                                     | 1,40                                   | 46                      |
| 132   | 500                      | 26,6            | 3         | 24        | 20                     | 4                       | 80                      | 9                      | 145 | 2,73                     | 447                          | 53                                     | 1,19                                   | 51                      |
| 133   | 400                      | 30,4            | 3         | 18        | 14                     | 4                       | 80                      | 10,5                   | 125 | 4,37                     | 351                          | 49                                     | 1,35                                   | 35                      |
| 134   | 400                      | 29,7            | 3         | 20        | 14                     | 4                       | 80                      | 9                      | 145 | 4,37                     | 352                          | 48                                     | 1,41                                   | 38                      |
| 135   | 400                      | 30,5            | 3         | 22        | 16                     | 4                       | 80                      | 9,5                    | 130 | 3,60                     | 351                          | 49                                     | 1,17                                   | 43                      |
| 136   | 400                      | 30              | 3         | 24        | 16                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 155 | 3,60                     | 352                          | 48                                     | 1,27                                   | 46                      |
| 137   | 300                      | 40,5            | 3         | 18        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 11,5                   | 115 | 4,19                     | 251                          | 49                                     | 0,95                                   | 35                      |
| 138   | 300                      | 39,6            | 3         | 20        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 11                     | 120 | 4,19                     | 252                          | 48                                     | 0,79                                   | 38                      |
| 139   | 300                      | 38,8            | 3         | 22        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 8,5                    | 155 | 4,19                     | 257                          | 43                                     | 0,93                                   | 41                      |
| 140   | 300                      | 37,3            | 3         | 24        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 175 | 4,19                     | 255                          | 45                                     | 0,96                                   | 43                      |
| 141   | 200                      | 60,7            | 3         | 18        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 25                     | 50  | 4,01                     | 151                          | 49                                     | 0,37                                   | 35                      |
| 142   | 200                      | 57,9            | 3         | 20        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 20                     | 65  | 4,01                     | 154                          | 46                                     | 0,43                                   | 37                      |
| 143   | 200                      | 56,9            | 3         | 22        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 16,5                   | 80  | 4,01                     | 155                          | 45                                     | 0,48                                   | 40                      |
| 144   | 200                      | 54,7            | 3         | 24        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 14                     | 95  | 4,01                     | 156                          | 46                                     | 0,52                                   | 42                      |

Таблица 8

$l = 4,50 \text{ м}$

| № П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | R <sub>св</sub> | α<br>в см | b<br>в см | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>св</sub><br>в мм | l <sub>св</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>стр</sub><br>в см | p + g<br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>те</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|-------|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|--------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------|
|       |                          |                 |           |           |                        |                         |                         |                        |     |                          |                              |  |  |                         |
| 145   | 700                      | 21,6            | 3         | 18        | 24                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 213 | 2,71                     | 632                          | 69                                     | 1,40                                   | 55                      |
| 146   | 700                      | 21,5            | 3         | 20        | 26                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 213 | 2,43                     | 632                          | 68                                     | 1,26                                   | 61                      |
| 147   | 700                      | 20,8            | 3         | 22        | 28                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 213 | 2,20                     | 634                          | 66                                     | 1,14                                   | 65                      |
| 148   | 700                      | 21,2            | 3         | 24        | 30                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 213 | 2,01                     | 633                          | 67                                     | 1,05                                   | 72                      |
| 149   | 600                      | 23,5            | 3         | 19        | 22                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 200 | 2,96                     | 536                          | 64                                     | 1,37                                   | 52                      |
| 150   | 600                      | 23,6            | 3         | 20        | 24                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 200 | 2,62                     | 535                          | 65                                     | 1,18                                   | 58                      |
| 151   | 600                      | 23,7            | 3         | 22        | 26                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 200 | 2,38                     | 535                          | 65                                     | 1,07                                   | 64                      |
| 152   | 600                      | 23,8            | 3         | 24        | 28                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 200 | 2,14                     | 535                          | 65                                     | 0,98                                   | 70                      |
| 153   | 500                      | 23,4            | 2,5       | 18        | 21                     | 3                       | 60                      | 6,5                    | 220 | 2,98                     | 447                          | 53                                     | 0,90                                   | 43                      |
| 154   | 500                      | 23,5            | 2,5       | 20        | 23                     | 3                       | 60                      | 6,5                    | 220 | 2,70                     | 447                          | 53                                     | 0,81                                   | 48                      |
| 155   | 500                      | 23,5            | 2,5       | 22        | 25                     | 3                       | 60                      | 6,5                    | 220 | 2,42                     | 446                          | 54                                     | 0,74                                   | 53                      |
| 156   | 500                      | 23,6            | 2,5       | 24        | 27                     | 3                       | 60                      | 6,5                    | 220 | 2,20                     | 446                          | 54                                     | 0,68                                   | 58                      |
| 157   | 400                      | 25,4            | 2,5       | 18        | 17                     | 3                       | 60                      | 6                      | 250 | 3,91                     | 353                          | 47                                     | 1,02                                   | 38                      |
| 158   | 400                      | 25,3            | 2,5       | 20        | 19                     | 3                       | 60                      | 6,5                    | 230 | 3,36                     | 352                          | 48                                     | 0,85                                   | 43                      |
| 159   | 400                      | 25,7            | 2,5       | 22        | 21                     | 3                       | 60                      | 6,5                    | 230 | 2,93                     | 352                          | 48                                     | 0,77                                   | 48                      |
| 160   | 400                      | 27              | 2,5       | 24        | 23                     | 3                       | 60                      | 6,5                    | 230 | 2,60                     | 351                          | 49                                     | 0,70                                   | 53                      |
| 161   | 300                      | 31,7            | 2,5       | 18        | 15                     | 2,6                     | 60                      | 5,5                    | 270 | 4,34                     | 257                          | 43                                     | 0,83                                   | 35                      |
| 162   | 300                      | 32,6            | 2,5       | 20        | 17                     | 2,6                     | 60                      | 5,5                    | 270 | 3,71                     | 256                          | 44                                     | 0,75                                   | 40                      |
| 163   | 300                      | 34,1            | 2,5       | 22        | 19                     | 2,6                     | 60                      | 6                      | 250 | 3,20                     | 254                          | 46                                     | 0,63                                   | 46                      |
| 164   | 300                      | 34              | 2,5       | 24        | 21                     | 2,6                     | 60                      | 6                      | 250 | 2,81                     | 254                          | 46                                     | 0,58                                   | 50                      |
| 165   | 200                      | 44,7            | 2,5       | 18        | 13                     | 2,6                     | 60                      | 8                      | 185 | 5,05                     | 159                          | 41                                     | 0,57                                   | 33                      |
| 166   | 200                      | 42,8            | 2,5       | 20        | 13                     | 2,6                     | 60                      | 7                      | 213 | 5,05                     | 161                          | 39                                     | 0,59                                   | 35                      |
| 167   | 200                      | 42,3            | 2,5       | 22        | 13                     | 2,6                     | 60                      | 6                      | 250 | 5,05                     | 162                          | 38                                     | 0,63                                   | 38                      |
| 168   | 200                      | 40,7            | 2,5       | 24        | 13                     | 2,6                     | 60                      | 5,5                    | 270 | 5,05                     | 163                          | 37                                     | 0,62                                   | 40                      |

Таблица 9

$l = 4,50 \text{ м}$

| № П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | R <sub>св</sub> | α<br>в см | b<br>в см | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>св</sub><br>в мм | l <sub>св</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>стр</sub><br>в см | p + g<br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>те</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|-------|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|--------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------|
|       |                          |                 |           |           |                        |                         |                         |                        |     |                          |                              |  |  |                         |
| 169   | 700                      | 20,2            | 3         | 18        | 22                     | 4                       | 80                      | 8                      | 185 | 3,06                     | 636                          | 64                                     | 1,80                                   | 52                      |
| 170   | 700                      | 20,8            | 3         | 20        | 24                     | 4                       | 80                      | 8                      | 185 | 2,70                     | 635                          | 65                                     | 1,62                                   | 58                      |
| 171   | 700                      | 20,3            | 3         | 22        | 26                     | 4                       | 80                      | 8                      | 185 | 2,43                     | 635                          | 65                                     | 1,47                                   | 64                      |
| 172   | 700                      | 19,8            | 3         | 24        | 28                     | 4                       | 80                      | 8                      | 185 | 2,30                     | 637                          | 63                                     | 1,35                                   | 68                      |
| 173   | 600                      | 22,2            | 3         | 18        | 20                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 175 | 3,39                     | 539                          | 61                                     | 1,73                                   | 49                      |
| 174   | 600                      | 21,2            | 3         | 20        | 20                     | 4                       | 80                      | 8                      | 185 | 3,39                     | 542                          | 58                                     | 1,62                                   | 52                      |
| 175   | 600                      | 21,5            | 3         | 22        | 22                     | 4                       | 80                      | 8                      | 185 | 2,96                     | 541                          | 59                                     | 1,47                                   | 58                      |
| 176   | 600                      | 21,7            | 3         | 24        | 24                     | 4                       | 80                      | 8                      | 185 | 2,62                     | 541                          | 59                                     | 1,35                                   | 64                      |
| 177   | 500                      | 25              | 3         | 18        | 18                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 213 | 3,79                     | 543                          | 57                                     | 1,40                                   | 46                      |
| 178   | 500                      | 25,4            | 3         | 20        | 20                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 213 | 3,27                     | 542                          | 58                                     | 1,25                                   | 52                      |
| 179   | 500                      | 25,8            | 3         | 22        | 22                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 213 | 2,86                     | 541                          | 59                                     | 1,14                                   | 58                      |
| 180   | 500                      | 26,1            | 3         | 24        | 24                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 200 | 2,54                     | 541                          | 59                                     | 0,98                                   | 64                      |
| 181   | 400                      | 24,4            | 3         | 18        | 16                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 200 | 4,30                     | 356                          | 44                                     | 1,30                                   | 36                      |
| 182   | 400                      | 23,8            | 3         | 20        | 16                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 213 | 4,30                     | 357                          | 43                                     | 1,25                                   | 39                      |
| 183   | 400                      | 24,4            | 3         | 22        | 18                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 213 | 3,63                     | 356                          | 44                                     | 1,14                                   | 44                      |
| 184   | 400                      | 24,4            | 3         | 24        | 20                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 200 | 3,09                     | 355                          | 45                                     | 0,98                                   | 48                      |
| 185   | 300                      | 29,8            | 2,5       | 18        | 13                     | 3                       | 60                      | 6                      | 250 | 5,44                     | 259                          | 41                                     | 0,78                                   | 33                      |
| 186   | 300                      | 31              | 2,5       | 20        | 15                     | 3                       | 60                      | 6,5                    | 230 | 4,42                     | 258                          | 42                                     | 0,64                                   | 38                      |
| 187   | 300                      | 31,9            | 2,5       | 22        | 17                     | 3                       | 60                      | 7                      | 213 | 3,71                     | 257                          | 43                                     | 0,54                                   | 43                      |
| 188   | 300                      | 32,5            | 2,5       | 24        | 19                     | 3                       | 60                      | 7                      | 213 | 3,20                     | 255                          | 45                                     | 0,49                                   | 48                      |
| 189   | 200                      | 44,7            | 2,5       | 18        | 13                     | 3                       | 60                      | 11                     | 136 | 5,05                     | 159                          | 41                                     | 0,56                                   | 33                      |
| 190   | 200                      | 44              | 2,5       | 20        | 13                     | 3                       | 60                      | 9                      | 165 | 5,05                     | 160                          | 40                                     | 0,61                                   | 36                      |
| 191   | 200                      | 43,3            | 2,5       | 22        | 13                     | 3                       | 60                      | 8                      | 185 | 5,05                     | 161                          | 39                                     | 0,62                                   | 39                      |
| 192   | 200                      | 41,7            | 2,5       | 24        | 13                     | 3                       | 60                      | 7                      | 213 | 5,05                     | 156                          | 44                                     | 0,65                                   | 41                      |

Таблица 10

$l = 4,50 \text{ м}$

| №<br>П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | h <sub>св</sub> | α   | b  | h <sub>1</sub> | d <sub>10</sub> | l <sub>10</sub> | s <sub>1</sub> | m   | f <sub>сгр</sub> | P + q |                     | g <sub>св</sub> | g <sub>св</sub> | G <sub>св</sub> |
|----------|--------------------------|-----------------|-----|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----|------------------|-------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|          |                          |                 |     |    |                |                 |                 |                |     |                  | в см  | в кг/м <sup>2</sup> |                 |                 |                 |
| 193      | 700                      | 22,5            | 3,5 | 18 | 21             | 4,5             | 90              | 9,5            | 155 | 3,24             | 623   | 72                  | 2,14            | 58              |                 |
| 194      | 700                      | 22,7            | 3,5 | 20 | 23             | 4,5             | 90              | 9,5            | 155 | 2,87             | 623   | 72                  | 1,93            | 65              |                 |
| 195      | 700                      | 22,5            | 3,5 | 22 | 25             | 4,5             | 90              | 10             | 150 | 2,58             | 623   | 72                  | 1,70            | 71              |                 |
| 196      | 700                      | 23              | 3,5 | 24 | 27             | 4,5             | 90              | 10             | 150 | 2,31             | 627   | 73                  | 1,55            | 79              |                 |
| 197      | 600                      | 24,4            | 3,5 | 18 | 19             | 4,5             | 90              | 10             | 150 | 3,36             | 533   | 67                  | 2,08            | 54              |                 |
| 198      | 600                      | 23,6            | 3,5 | 20 | 19             | 4,5             | 90              | 9              | 165 | 3,66             | 535   | 65                  | 2,94            | 58              |                 |
| 199      | 600                      | 24,1            | 3,5 | 22 | 21             | 4,5             | 90              | 9              | 165 | 3,21             | 534   | 66                  | 1,96            | 65              |                 |
| 200      | 600                      | 24,4            | 3,5 | 24 | 23             | 4,5             | 90              | 9,5            | 155 | 2,79             | 533   | 67                  | 1,60            | 72              |                 |
| 201      | 500                      | 23,4            | 3   | 18 | 16             | 4               | 80              | 8              | 185 | 4,52             | 443   | 53                  | 1,80            | 43              |                 |
| 202      | 500                      | 24              | 3   | 20 | 18             | 4               | 80              | 8,5            | 175 | 3,79             | 445   | 55                  | 1,54            | 40              |                 |
| 203      | 500                      | 24,4            | 3   | 22 | 20             | 4               | 80              | 8,5            | 175 | 3,25             | 444   | 56                  | 1,39            | 55              |                 |
| 204      | 500                      | 24,8            | 3   | 24 | 22             | 4               | 80              | 9              | 165 | 2,86             | 443   | 57                  | 1,25            | 61              |                 |
| 205      | 400                      | 27,2            | 3   | 18 | 14             | 4               | 80              | 8,5            | 175 | 5,27             | 351   | 49                  | 1,68            | 40              |                 |
| 206      | 400                      | 28,1            | 3   | 20 | 16             | 4               | 80              | 9              | 165 | 4,30             | 349   | 51                  | 1,44            | 46              |                 |
| 207      | 400                      | 33,7            | 3   | 22 | 16             | 4               | 80              | 8              | 185 | 4,30             | 350   | 50                  | 1,46            | 49              |                 |
| 208      | 400                      | 28              | 3   | 24 | 18             | 4               | 80              | 8,5            | 175 | 3,56             | 349   | 51                  | 1,28            | 55              |                 |
| 209      | 300                      | 36,2            | 3   | 18 | 14             | 3,5             | 70              | 9              | 165 | 4,97             | 251   | 49                  | 1,03            | 40              |                 |
| 210      | 300                      | 35              | 3   | 20 | 14             | 3,5             | 70              | 8              | 185 | 4,97             | 252   | 48                  | 1,03            | 43              |                 |
| 211      | 300                      | 34,1            | 3   | 22 | 14             | 3,5             | 70              | 7              | 213 | 4,97             | 253   | 47                  | 1,14            | 46              |                 |
| 212      | 300                      | 35,3            | 3   | 24 | 16             | 3,5             | 70              | 8              | 185 | 4,09             | 252   | 48                  | 0,90            | 52              |                 |
| 213      | 200                      | 53              | 3   | 18 | 14             | 3,5             | 70              | 18,5           | 80  | 4,68             | 152   | 48                  | 0,32            | 39              |                 |
| 214      | 200                      | 51,3            | 3   | 20 | 14             | 3,5             | 70              | 15,5           | 95  | 4,68             | 153   | 47                  | 0,56            | 42              |                 |
| 215      | 200                      | 50              | 3   | 22 | 14             | 3,5             | 70              | 13             | 115 | 4,68             | 155   | 45                  | 0,81            | 45              |                 |
| 216      | 200                      | 49,8            | 3   | 24 | 14             | 3,5             | 70              | 11,5           | 130 | 4,68             | 155   | 45                  | 0,64            | 49              |                 |

Таблица 11

$l = 5,00 \text{ м}$

| №<br>П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | h <sub>св</sub> | α   | b  | h <sub>1</sub> | d <sub>10</sub> | l <sub>10</sub> | s <sub>1</sub> | m   | f <sub>сгр</sub> | P + q |                     | g <sub>св</sub> | g <sub>св</sub> | G <sub>св</sub> |
|----------|--------------------------|-----------------|-----|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----|------------------|-------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|          |                          |                 |     |    |                |                 |                 |                |     |                  | в см  | в кг/м <sup>2</sup> |                 |                 |                 |
| 217      | 700                      | 19,4            | 3   | 18 | 24             | 4               | 80              | 8              | 205 | 3,24             | 632   | 68                  | 1,80            | 61              |                 |
| 218      | 700                      | 18,9            | 3   | 20 | 26             | 4               | 80              | 8              | 205 | 2,89             | 634   | 66                  | 1,62            | 66              |                 |
| 219      | 700                      | 19,2            | 3   | 22 | 28             | 4               | 80              | 8              | 205 | 2,64             | 633   | 67                  | 1,47            | 74              |                 |
| 220      | 700                      | 19,3            | 3   | 24 | 30             | 4               | 80              | 8              | 205 | 2,37             | 632   | 68                  | 1,35            | 81              |                 |
| 221      | 600                      | 20              | 3   | 18 | 20             | 4               | 80              | 8              | 205 | 4,07             | 540   | 60                  | 1,80            | 54              |                 |
| 222      | 600                      | 20,3            | 3   | 20 | 22             | 4               | 80              | 8              | 205 | 3,51             | 539   | 61                  | 1,62            | 61              |                 |
| 223      | 600                      | 20,6            | 3   | 22 | 24             | 4               | 80              | 8              | 205 | 3,12             | 538   | 62                  | 1,47            | 68              |                 |
| 224      | 600                      | 20,6            | 3   | 24 | 26             | 4               | 80              | 8              | 205 | 2,79             | 538   | 62                  | 1,35            | 74              |                 |
| 225      | 500                      | 24,5            | 3   | 18 | 20             | 3,5             | 70              | 7              | 235 | 3,88             | 439   | 61                  | 1,39            | 55              |                 |
| 226      | 500                      | 24,4            | 3   | 20 | 22             | 3,5             | 70              | 7              | 235 | 3,38             | 439   | 61                  | 1,24            | 61              |                 |
| 227      | 500                      | 24,7            | 3   | 22 | 24             | 3,5             | 70              | 7              | 235 | 2,99             | 438   | 62                  | 1,13            | 68              |                 |
| 228      | 500                      | 24,7            | 3   | 24 | 26             | 3,5             | 70              | 7              | 235 | 2,69             | 438   | 62                  | 1,03            | 74              |                 |
| 229      | 400                      | 26,7            | 3   | 18 | 16             | 3,5             | 70              | 7              | 235 | 5,12             | 347   | 53                  | 1,39            | 48              |                 |
| 230      | 400                      | 27,5            | 3   | 20 | 18             | 3,5             | 70              | 7              | 235 | 4,30             | 345   | 55                  | 1,24            | 55              |                 |
| 231      | 400                      | 27,5            | 3   | 22 | 20             | 3,5             | 70              | 7,5            | 210 | 3,69             | 345   | 55                  | 1,01            | 61              |                 |
| 232      | 400                      | 27,9            | 3   | 24 | 22             | 3,5             | 70              | 7,5            | 210 | 3,23             | 344   | 56                  | 0,93            | 67              |                 |
| 233      | 300                      | 29,6            | 2,5 | 18 | 15             | 3               | 60              | 6,5            | 255 | 5,12             | 256   | 44                  | 0,94            | 40              |                 |
| 234      | 300                      | 28              | 2,5 | 20 | 15             | 3               | 60              | 6              | 275 | 5,25             | 258   | 42                  | 0,90            | 42              |                 |
| 235      | 300                      | 29,1            | 2,5 | 22 | 17             | 3               | 60              | 6              | 275 | 4,38             | 256   | 44                  | 0,53            | 48              |                 |
| 236      | 300                      | 29,4            | 2,5 | 24 | 19             | 3               | 60              | 6,5            | 255 | 3,75             | 256   | 44                  | 0,70            | 53              |                 |
| 237      | 200                      | 41,1            | 2,5 | 18 | 13             | 3               | 60              | 9,5            | 173 | 5,92             | 159   | 41                  | 0,64            | 37              |                 |
| 238      | 200                      | 39              | 2,5 | 20 | 13             | 3               | 60              | 8              | 205 | 5,93             | 161   | 39                  | 0,68            | 39              |                 |
| 239      | 200                      | 39,2            | 2,5 | 22 | 13             | 3               | 60              | 7              | 235 | 5,98             | 162   | 38                  | 0,71            | 42              |                 |
| 240      | 200                      | 37,5            | 2,5 | 24 | 13             | 3               | 60              | 6,5            | 255 | 5,93             | 162   | 38                  | 0,70            | 45              |                 |

Таблица 12

 $l = 5,00 \text{ м}$ 

| №<br>П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | h <sub>св</sub> | a<br>в см | b<br>в см | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>св</sub><br>в мм | l <sub>св</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>стр</sub><br>в см | p + g<br>в кг/м <sup>2</sup> | q <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | q <sub>те</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|----------|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|--------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------|
|          |                          |                 |           |           |                        |                         |                         |                        |     |                          |                              |  |  |                         |
| 241      | 700                      | 20,3            | 3,5       | 18        | 21                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 183 | 3,91                     | 629                          | 71                                     | 2,24                                   | 64                      |
| 242      | 700                      | 20,6            | 3,5       | 20        | 23                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 188 | 3,42                     | 628                          | 72                                     | 2,05                                   | 72                      |
| 243      | 700                      | 20,8            | 3,5       | 22        | 25                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 183 | 3,03                     | 627                          | 73                                     | 1,88                                   | 80                      |
| 244      | 700                      | 23,4            | 3,5       | 24        | 27                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 183 | 2,72                     | 627                          | 73                                     | 1,70                                   | 87                      |
| 245      | 600                      | 22,2            | 3,5       | 18        | 19                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 183 | 4,37                     | 533                          | 67                                     | 2,24                                   | 60                      |
| 246      | 600                      | 22,6            | 3,5       | 20        | 21                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 183 | 3,78                     | 532                          | 58                                     | 2,05                                   | 68                      |
| 247      | 600                      | 23              | 3,5       | 22        | 23                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 183 | 3,34                     | 531                          | 69                                     | 1,88                                   | 76                      |
| 248      | 600                      | 23              | 3,5       | 24        | 25                     | 4,5                     | 90                      | 9,5                    | 173 | 2,92                     | 531                          | 69                                     | 1,61                                   | 83                      |
| 249      | 500                      | 22,6            | 3         | 18        | 18                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 195 | 4,54                     | 443                          | 57                                     | 1,71                                   | 51                      |
| 250      | 500                      | 23,2            | 3         | 20        | 20                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 195 | 3,88                     | 442                          | 58                                     | 1,54                                   | 58                      |
| 251      | 500                      | 23,3            | 3         | 22        | 22                     | 4                       | 80                      | 9                      | 183 | 3,88                     | 442                          | 58                                     | 1,26                                   | 64                      |
| 252      | 500                      | 22,7            | 3         | 24        | 22                     | 4                       | 80                      | 8                      | 205 | 3,58                     | 443                          | 57                                     | 1,30                                   | 68                      |
| 253      | 400                      | 25              | 3         | 18        | 14                     | 4                       | 80                      | 8                      | 205 | 5,63                     | 350                          | 50                                     | 1,78                                   | 45                      |
| 254      | 400                      | 25,5            | 3         | 20        | 16                     | 4                       | 80                      | 8                      | 205 | 5,12                     | 349                          | 51                                     | 1,62                                   | 51                      |
| 255      | 400                      | 26,4            | 3         | 22        | 18                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 195 | 4,30                     | 347                          | 53                                     | 1,39                                   | 58                      |
| 256      | 400                      | 26,7            | 3         | 24        | 20                     | 4                       | 80                      | 9                      | 183 | 3,56                     | 347                          | 53                                     | 1,20                                   | 64                      |
| 257      | 300                      | 32,6            | 3         | 18        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 8                      | 205 | 5,9                      | 251                          | 49                                     | 1,20                                   | 44                      |
| 258      | 300                      | 32              | 3         | 20        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 235 | 5,9                      | 252                          | 48                                     | 1,24                                   | 48                      |
| 259      | 300                      | 32,7            | 3         | 22        | 16                     | 3,5                     | 70                      | 8                      | 205 | 4,80                     | 251                          | 49                                     | 0,98                                   | 54                      |
| 260      | 300                      | 32,2            | 3         | 24        | 16                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 235 | 4,80                     | 252                          | 48                                     | 1,03                                   | 58                      |
| 261      | 200                      | 47,7            | 3         | 18        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 16                     | 103 | 5,45                     | 152                          | 48                                     | 0,60                                   | 43                      |
| 262      | 200                      | 47              | 3         | 20        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 13                     | 125 | 5,45                     | 153                          | 47                                     | 0,66                                   | 47                      |
| 263      | 200                      | 45,5            | 3         | 22        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 11,5                   | 133 | 5,45                     | 155                          | 45                                     | 0,64                                   | 50                      |
| 264      | 200                      | 45              | 3         | 24        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 10                     | 165 | 5,45                     | 155                          | 45                                     | 0,72                                   | 54                      |

Таблица 13

 $l = 5,00 \text{ м}$ 

| №<br>П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | h <sub>св</sub> | a<br>в см | b<br>в см | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>св</sub><br>в мм | l <sub>св</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>стр</sub><br>в см | p + g<br>в кг/м <sup>2</sup> | q <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | q <sub>те</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|----------|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|--------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------|
|          |                          |                 |           |           |                        |                         |                         |                        |     |                          |                              |  |  |                         |
| 265      | 700                      | 21,9            | 4         | 18        | 20                     | 5                       | 100                     | 10                     | 165 | 4,23                     | 623                          | 77                                     | 2,82                                   | 69                      |
| 266      | 700                      | 22,6            | 4         | 20        | 22                     | 5                       | 100                     | 10                     | 165 | 3,66                     | 621                          | 79                                     | 2,54                                   | 79                      |
| 267      | 700                      | 22,5            | 4         | 22        | 24                     | 5                       | 100                     | 10                     | 165 | 3,21                     | 621                          | 79                                     | 2,30                                   | 87                      |
| 268      | 700                      | 22,9            | 4         | 24        | 26                     | 5                       | 100                     | 10                     | 165 | 2,86                     | 620                          | 80                                     | 2,12                                   | 96                      |
| 269      | 600                      | 24,1            | 4         | 18        | 18                     | 5                       | 100                     | 10                     | 165 | 4,81                     | 528                          | 72                                     | 2,83                                   | 65                      |
| 270      | 600                      | 24,3            | 4         | 20        | 20                     | 5                       | 100                     | 10,5                   | 157 | 4,08                     | 527                          | 73                                     | 2,54                                   | 73                      |
| 271      | 600                      | 25,2            | 4         | 22        | 22                     | 5                       | 100                     | 11                     | 150 | 3,53                     | 525                          | 75                                     | 2,10                                   | 83                      |
| 272      | 600                      | 25,3            | 4         | 24        | 24                     | 5                       | 100                     | 11                     | 150 | 3,11                     | 524                          | 76                                     | 1,93                                   | 91                      |
| 273      | 500                      | 24,9            | 3,5       | 18        | 17                     | 4,5                     | 90                      | 9,5                    | 173 | 3,98                     | 438                          | 62                                     | 2,18                                   | 56                      |
| 274      | 500                      | 25,6            | 3,5       | 20        | 19                     | 4,5                     | 90                      | 10                     | 165 | 4,19                     | 436                          | 64                                     | 1,85                                   | 64                      |
| 275      | 500                      | 24,7            | 3,5       | 22        | 19                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 183 | 4,19                     | 438                          | 62                                     | 1,86                                   | 68                      |
| 276      | 500                      | 25,7            | 3,5       | 24        | 21                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 183 | 3,61                     | 437                          | 63                                     | 1,71                                   | 76                      |
| 277      | 400                      | 28,9            | 3,5       | 18        | 15                     | 4,5                     | 90                      | 11                     | 150 | 5,75                     | 342                          | 58                                     | 1,86                                   | 52                      |
| 278      | 400                      | 28              | 3,5       | 20        | 15                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 183 | 5,75                     | 344                          | 56                                     | 2,05                                   | 56                      |
| 279      | 400                      | 29,1            | 3,5       | 22        | 17                     | 4,5                     | 90                      | 10                     | 165 | 5,37                     | 342                          | 58                                     | 1,68                                   | 64                      |
| 280      | 400                      | 28,4            | 3,5       | 24        | 17                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 183 | 5,37                     | 343                          | 57                                     | 1,71                                   | 68                      |
| 281      | 300                      | 32,6            | 3         | 18        | 14                     | 4                       | 80                      | 11,5                   | 133 | 5,90                     | 251                          | 49                                     | 1,15                                   | 44                      |
| 282      | 300                      | 32              | 3         | 20        | 14                     | 4                       | 80                      | 9,5                    | 173 | 5,90                     | 252                          | 48                                     | 1,25                                   | 48                      |
| 283      | 300                      | 30,9            | 3         | 22        | 14                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 195 | 5,90                     | 254                          | 46                                     | 1,38                                   | 51                      |
| 284      | 300                      | 32,2            | 3         | 24        | 16                     | 4                       | 80                      | 9,5                    | 173 | 4,80                     | 252                          | 48                                     | 1,13                                   | 58                      |
| 285      | 200                      | 47,7            | 3         | 18        | 14                     | 4                       | 80                      | 22                     | 75  | 5,45                     | 152                          | 48                                     | 0,65                                   | 43                      |
| 286      | 200                      | 47              | 3         | 20        | 14                     | 4                       | 80                      | 18                     | 90  | 5,45                     | 153                          | 47                                     | 0,70                                   | 47                      |
| 287      | 200                      | 45,5            | 3         | 22        | 14                     | 4                       | 80                      | 16                     | 103 | 5,45                     | 155                          | 45                                     | 0,72                                   | 50                      |
| 288      | 200                      | 45              | 3         | 24        | 14                     | 4                       | 80                      | 13                     | 125 | 5,45                     | 155                          | 45                                     | 0,82                                   | 54                      |

Таблица 14

$l = 6,00 \text{ м}$

| №<br>П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | R <sub>св</sub> | a<br>в см | b<br>в см | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>1в</sub><br>в мм | l <sub>1в</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>ср</sub><br>в см | p + g | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>1в</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|----------|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|-------------------------|-------|--|--|-------------------------|
|          |                          |                 |           |           |                        |                         |                         |                        |     |                         |       |  |  |                         |
| 289      | 700                      | 19              | 3,5       | 18        | 25                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 220 | 4,25                    | 620   | 80                                     | 2,24                                   | 86                      |
| 290      | 700                      | 18,8            | 3,5       | 20        | 27                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 220 | 3,73                    | 621   | 79                                     | 2,05                                   | 95                      |
| 291      | 700                      | 19,3            | 3,5       | 22        | 29                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 220 | 3,46                    | 619   | 81                                     | 1,57                                   | 107                     |
| 292      | 700                      | 18,8            | 3,5       | 24        | 31                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 220 | 3,05                    | 621   | 79                                     | 1,71                                   | 114                     |
| 293      | 600                      | 20,8            | 3,5       | 18        | 23                     | 4,5                     | 90                      | 9,5                    | 210 | 4,58                    | 525   | 75                                     | 2,23                                   | 81                      |
| 294      | 600                      | 21,1            | 3,5       | 20        | 25                     | 4,5                     | 90                      | 9,5                    | 210 | 4,03                    | 524   | 76                                     | 1,96                                   | 91                      |
| 295      | 600                      | 21,2            | 3,5       | 22        | 27                     | 4,5                     | 90                      | 9,5                    | 210 | 3,35                    | 523   | 77                                     | 1,73                                   | 101                     |
| 296      | 600                      | 21,2            | 3,5       | 24        | 29                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 220 | 3,24                    | 524   | 76                                     | 1,71                                   | 110                     |
| 297      | 500                      | 20,4            | 3         | 18        | 20                     | 4                       | 80                      | 8                      | 250 | 4,70                    | 439   | 61                                     | 1,83                                   | 66                      |
| 298      | 500                      | 21,9            | 3         | 20        | 22                     | 4                       | 80                      | 8                      | 250 | 4,70                    | 434   | 66                                     | 1,64                                   | 79                      |
| 299      | 500                      | 20,4            | 3         | 22        | 24                     | 4                       | 80                      | 8                      | 250 | 4,02                    | 432   | 68                                     | 1,50                                   | 81                      |
| 300      | 500                      | 19              | 3         | 24        | 26                     | 4                       | 80                      | 8                      | 250 | 3,67                    | 443   | 57                                     | 1,37                                   | 82                      |
| 301      | 400                      | 23,9            | 3         | 18        | 18                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 235 | 6,00                    | 343   | 57                                     | 1,72                                   | 62                      |
| 302      | 400                      | 22,9            | 3         | 20        | 18                     | 4                       | 80                      | 8                      | 250 | 6,00                    | 345   | 55                                     | 1,64                                   | 66                      |
| 303      | 400                      | 23              | 3         | 22        | 20                     | 4                       | 80                      | 8                      | 250 | 5,09                    | 345   | 55                                     | 1,50                                   | 73                      |
| 304      | 400                      | 25,2            | 3         | 24        | 22                     | 4                       | 80                      | 8                      | 250 | 4,39                    | 340   | 60                                     | 1,37                                   | 87                      |
| 305      | 300                      | 29,3            | 3         | 18        | 16                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 285 | 6,61                    | 247   | 53                                     | 1,40                                   | 57                      |
| 306      | 300                      | 28,3            | 3         | 20        | 16                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 285 | 6,61                    | 249   | 51                                     | 1,26                                   | 61                      |
| 307      | 300                      | 29              | 3         | 22        | 18                     | 3,5                     | 70                      | 7                      | 285 | 5,49                    | 248   | 52                                     | 1,15                                   | 69                      |
| 308      | 300                      | 29,7            | 3         | 24        | 20                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 265 | 4,69                    | 246   | 54                                     | 0,98                                   | 77                      |
| 309      | 200                      | 40,9            | 3         | 18        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 11,5                   | 170 | 7,30                    | 151   | 49                                     | 0,83                                   | 53                      |
| 310      | 200                      | 39,6            | 3         | 20        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 9,5                    | 210 | 7,30                    | 152   | 48                                     | 0,92                                   | 57                      |
| 311      | 200                      | 38,5            | 3         | 22        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 8,0                    | 250 | 7,30                    | 154   | 46                                     | 0,98                                   | 61                      |
| 312      | 200                      | 37,6            | 3         | 24        | 14                     | 3,5                     | 70                      | 7,5                    | 265 | 7,80                    | 155   | 45                                     | 0,96                                   | 65                      |

Таблица 15

$l = 6,00 \text{ м}$

| №<br>П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | R <sub>св</sub> | a<br>в см | b<br>в см | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>1в</sub><br>в мм | l <sub>1в</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>ср</sub><br>в см | p + g | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>1в</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|----------|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|-------------------------|-------|--|--|-------------------------|
|          |                          |                 |           |           |                        |                         |                         |                        |     |                         |       |  |  |                         |
| 313      | 700                      | 20,5            | 4         | 18        | 24                     | 5                       | 100                     | 10                     | 200 | 4,47                    | 614   | 86                                     | 2,85                                   | 93                      |
| 314      | 700                      | 20,6            | 4         | 20        | 26                     | 5                       | 100                     | 10                     | 200 | 3,95                    | 613   | 87                                     | 2,56                                   | 104                     |
| 315      | 700                      | 20,5            | 4         | 22        | 28                     | 5                       | 100                     | 10                     | 200 | 3,52                    | 614   | 86                                     | 2,34                                   | 114                     |
| 316      | 700                      | 20,7            | 4         | 24        | 30                     | 5                       | 100                     | 10                     | 200 | 3,18                    | 613   | 87                                     | 2,14                                   | 125                     |
| 317      | 600                      | 22,6            | 4         | 18        | 22                     | 5                       | 100                     | 11                     | 180 | 4,88                    | 518   | 82                                     | 2,56                                   | 88                      |
| 318      | 600                      | 22,9            | 4         | 20        | 24                     | 5                       | 100                     | 11                     | 180 | 4,26                    | 517   | 83                                     | 2,31                                   | 97                      |
| 319      | 600                      | 21,9            | 4         | 22        | 24                     | 5                       | 100                     | 10                     | 200 | 4,26                    | 521   | 79                                     | 2,34                                   | 104                     |
| 320      | 600                      | 22              | 4         | 24        | 26                     | 5                       | 100                     | 10                     | 200 | 3,88                    | 521   | 79                                     | 2,14                                   | 114                     |
| 321      | 500                      | 22,2            | 3,5       | 18        | 19                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 220 | 5,87                    | 433   | 67                                     | 2,28                                   | 72                      |
| 322      | 500                      | 22,8            | 3,5       | 20        | 21                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 220 | 4,99                    | 432   | 68                                     | 2,06                                   | 82                      |
| 323      | 500                      | 23,2            | 3,5       | 22        | 23                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 224 | 4,42                    | 430   | 70                                     | 1,88                                   | 92                      |
| 324      | 500                      | 23,1            | 3,5       | 24        | 25                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 200 | 3,83                    | 431   | 69                                     | 1,71                                   | 100                     |
| 325      | 400                      | 25,8            | 3,5       | 18        | 17                     | 4,5                     | 90                      | 10                     | 200 | 6,56                    | 333   | 62                                     | 2,06                                   | 67                      |
| 326      | 400                      | 25,0            | 3,5       | 20        | 17                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 220 | 6,55                    | 340   | 60                                     | 2,36                                   | 72                      |
| 327      | 400                      | 26,2            | 3,5       | 22        | 19                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 220 | 5,48                    | 337   | 63                                     | 1,87                                   | 83                      |
| 328      | 400                      | 26,3            | 3,5       | 24        | 21                     | 4,5                     | 90                      | 9,5                    | 210 | 4,69                    | 337   | 63                                     | 1,64                                   | 91                      |
| 329      | 300                      | 27,8            | 3         | 18        | 14                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 285 | 8,27                    | 250   | 50                                     | 1,69                                   | 54                      |
| 330      | 300                      | 28,2            | 3         | 20        | 16                     | 4                       | 80                      | 9                      | 220 | 6,61                    | 249   | 51                                     | 1,44                                   | 61                      |
| 331      | 300                      | 28,8            | 3         | 22        | 16                     | 4                       | 80                      | 8                      | 250 | 6,61                    | 250   | 50                                     | 1,49                                   | 66                      |
| 332      | 300                      | 28,2            | 3         | 24        | 18                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 235 | 5,50                    | 249   | 51                                     | 1,29                                   | 73                      |
| 333      | 200                      | 41,0            | 3         | 18        | 14                     | 4                       | 80                      | 16                     | 125 | 7,30                    | 151   | 49                                     | 0,89                                   | 53                      |
| 334      | 200                      | 39,6            | 3         | 20        | 14                     | 4                       | 80                      | 15                     | 133 | 7,30                    | 152   | 48                                     | 0,96                                   | 57                      |
| 335      | 200                      | 38,5            | 3         | 22        | 14                     | 4                       | 80                      | 11,5                   | 170 | 7,30                    | 154   | 46                                     | 1,00                                   | 61                      |
| 336      | 200                      | 37,6            | 3         | 24        | 14                     | 4                       | 80                      | 10                     | 200 | 7,80                    | 155   | 45                                     | 1,08                                   | 65                      |

Таблица 16

l = 6,00 м

| №<br>П.Ц. | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | h <sub>св</sub> | a<br>в см | b<br>в см | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>св</sub><br>в мм | l <sub>св</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>стр</sub><br>в см | p + g<br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|-----------|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|--------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------|
|           |                          |                 |           |           |                        |                         |                         |                        |     |                          |                              |  |  |                         |
| 337       | 700                      | 21,8            | 4,5       | 18        | 23                     | 5,5                     | 125                     | 11,5                   | 170 | 4,73                     | 608                          | 92                                     | 3,70                                   | 99                      |
| 338       | 700                      | 22,0            | 4,8       | 20        | 25                     | 5,5                     | 125                     | 11,5                   | 170 | 4,17                     | 607                          | 93                                     | 3,30                                   | 111                     |
| 339       | 700                      | 22,2            | 4,5       | 22        | 27                     | 5,5                     | 125                     | 11                     | 180 | 3,70                     | 607                          | 93                                     | 3,16                                   | 123                     |
| 340       | 700                      | 22,3            | 4,5       | 24        | 29                     | 5,5                     | 125                     | 11                     | 180 | 3,32                     | 606                          | 94                                     | 2,92                                   | 135                     |
| 341       | 600                      | 23,9            | 4,5       | 18        | 21                     | 5,5                     | 125                     | 12,5                   | 160 | 5,28                     | 514                          | 86                                     | 3,46                                   | 93                      |
| 342       | 600                      | 22,9            | 4,5       | 20        | 21                     | 5,5                     | 125                     | 11                     | 180 | 4,99                     | 517                          | 83                                     | 3,50                                   | 99                      |
| 343       | 600                      | 23,4            | 4,5       | 22        | 23                     | 5,5                     | 125                     | 11                     | 180 | 4,56                     | 516                          | 84                                     | 3,18                                   | 111                     |
| 344       | 600                      | 23,7            | 4,5       | 24        | 25                     | 5,5                     | 125                     | 11                     | 180 | 4,01                     | 515                          | 85                                     | 2,91                                   | 123                     |
| 345       | 500                      | 24,1            | 4         | 18        | 18                     | 5                       | 100                     | 10                     | 200 | 6,43                     | 428                          | 72                                     | 2,86                                   | 78                      |
| 346       | 500                      | 24,4            | 4         | 20        | 20                     | 5                       | 100                     | 10,5                   | 180 | 5,39                     | 427                          | 73                                     | 2,44                                   | 85                      |
| 347       | 500                      | 25              | 4         | 22        | 22                     | 5                       | 100                     | 10,5                   | 180 | 4,62                     | 425                          | 75                                     | 2,22                                   | 91                      |
| 348       | 500                      | 25,2            | 4         | 24        | 24                     | 5                       | 100                     | 11                     | 180 | 4,05                     | 424                          | 76                                     | 1,23                                   | 109                     |
| 349       | 400                      | 27,8            | 4         | 18        | 16                     | 5                       | 100                     | 11                     | 180 | 7,34                     | 333                          | 67                                     | 2,56                                   | 72                      |
| 350       | 400                      | 27,1            | 4         | 20        | 16                     | 5                       | 100                     | 10                     | 200 | 7,83                     | 335                          | 65                                     | 2,56                                   | 78                      |
| 351       | 400                      | 27,4            | 4         | 22        | 18                     | 5                       | 100                     | 10                     | 200 | 6,01                     | 333                          | 67                                     | 2,34                                   | 85                      |
| 352       | 400                      | 28,4            | 4         | 24        | 20                     | 5                       | 100                     | 11                     | 180 | 5,06                     | 332                          | 68                                     | 2,10                                   | 95                      |
| 353       | 300                      | 31,9            | 3,5       | 18        | 15                     | 4,5                     | 90                      | 12,5                   | 160 | 8,42                     | 243                          | 57                                     | 1,66                                   | 62                      |
| 354       | 300                      | 31              | 3,5       | 20        | 15                     | 4,5                     | 90                      | 10,5                   | 190 | 7,40                     | 244                          | 56                                     | 1,77                                   | 67                      |
| 355       | 300                      | 30,7            | 3,5       | 22        | 15                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 227 | 7,15                     | 245                          | 55                                     | 1,93                                   | 73                      |
| 356       | 300                      | 31,3            | 3,5       | 24        | 17                     | 4,5                     | 90                      | 10                     | 205 | 6,14                     | 244                          | 56                                     | 1,60                                   | 81                      |
| 357       | 200                      | 47              | 3,5       | 18        | 15                     | 4,5                     | 90                      | 27                     | 70  | 6,92                     | 143                          | 57                                     | 0,72                                   | 61                      |
| 358       | 200                      | 47,8            | 3,5       | 20        | 15                     | 4,5                     | 90                      | 21,5                   | 90  | 6,67                     | 145                          | 55                                     | 0,84                                   | 66                      |
| 359       | 200                      | 45,5            | 3,5       | 22        | 15                     | 4,5                     | 90                      | 18                     | 110 | 6,77                     | 145                          | 55                                     | 0,93                                   | 72                      |
| 360       | 200                      | 44              | 3,5       | 24        | 15                     | 4,5                     | 90                      | 15                     | 133 | 6,67                     | 147                          | 53                                     | 1,04                                   | 76                      |

Таблица 17

l = 7,00 м

| №<br>П.Ц. | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | h <sub>св</sub> | a<br>в см | b<br>в см | h <sub>1</sub><br>в см | d <sub>св</sub><br>в мм | l <sub>св</sub><br>в мм | s <sub>1</sub><br>в см | m   | f <sub>стр</sub><br>в см | p + g<br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | g <sub>св</sub><br>в кг/м <sup>2</sup> | G <sub>св</sub><br>в кг |
|-----------|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----|--------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------|
|           |                          |                 |           |           |                        |                         |                         |                        |     |                          |                              |  |  |                         |
| 361       | 700                      | 19,5            | 4         | 18        | 23                     | 5                       | 100                     | 10,5                   | 220 | 4,81                     | 604                          | 96                                     | 2,68                                   | 121                     |
| 362       | 700                      | 19,5            | 4         | 20        | 30                     | 5                       | 100                     | 10                     | 230 | 4,35                     | 604                          | 96                                     | 2,54                                   | 134                     |
| 363       | 700                      | 19,4            | 4         | 22        | 32                     | 5                       | 100                     | 10                     | 230 | 3,93                     | 605                          | 95                                     | 2,31                                   | 146                     |
| 364       | 700                      | 19,2            | 4         | 24        | 34                     | 5                       | 100                     | 10                     | 230 | 3,54                     | 606                          | 94                                     | 2,10                                   | 158                     |
| 365       | 600                      | 20,3            | 4         | 18        | 24                     | 5                       | 100                     | 10                     | 230 | 5,84                     | 514                          | 86                                     | 2,72                                   | 109                     |
| 366       | 600                      | 20,3            | 4         | 20        | 26                     | 5                       | 100                     | 10                     | 230 | 5,18                     | 514                          | 86                                     | 2,54                                   | 121                     |
| 367       | 600                      | 20,4            | 4         | 22        | 28                     | 5                       | 100                     | 10                     | 230 | 4,54                     | 513                          | 87                                     | 2,30                                   | 134                     |
| 368       | 600                      | 20,4            | 4         | 24        | 30                     | 5                       | 100                     | 10                     | 230 | 3,97                     | 513                          | 87                                     | 2,10                                   | 146                     |
| 369       | 500                      | 21,6            | 3,5       | 18        | 28                     | 4,5                     | 90                      | 10                     | 230 | 5,94                     | 425                          | 75                                     | 2,05                                   | 95                      |
| 370       | 500                      | 21,6            | 3,5       | 20        | 25                     | 4,5                     | 90                      | 9,5                    | 245 | 5,22                     | 424                          | 76                                     | 1,97                                   | 106                     |
| 371       | 500                      | 21,7            | 3,5       | 22        | 27                     | 4,5                     | 90                      | 9,5                    | 245 | 4,62                     | 424                          | 76                                     | 1,73                                   | 117                     |
| 372       | 500                      | 21,6            | 3,5       | 24        | 29                     | 4,5                     | 90                      | 9,5                    | 245 | 4,11                     | 424                          | 76                                     | 1,64                                   | 127                     |
| 373       | 400                      | 24              | 3,5       | 18        | 19                     | 4,5                     | 90                      | 10                     | 230 | 6,69                     | 333                          | 67                                     | 2,06                                   | 85                      |
| 374       | 400                      | 24              | 3,5       | 20        | 21                     | 4,5                     | 90                      | 9,5                    | 245 | 6,33                     | 332                          | 68                                     | 1,96                                   | 95                      |
| 375       | 400                      | 23,5            | 3,5       | 22        | 21                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 260 | 6,57                     | 334                          | 66                                     | 1,89                                   | 101                     |
| 376       | 400                      | 23,6            | 3,5       | 24        | 23                     | 4,5                     | 90                      | 9                      | 260 | 6,47                     | 334                          | 66                                     | 1,74                                   | 111                     |
| 377       | 300                      | 25              | 3         | 18        | 16                     | 4                       | 80                      | 8,5                    | 270 | 9,08                     | 247                          | 53                                     | 1,68                                   | 67                      |
| 378       | 300                      | 25,8            | 3         | 20        | 18                     | 4                       | 80                      | 9                      | 261 | 7,41                     | 246                          | 54                                     | 1,46                                   | 76                      |
| 379       | 300                      | 25              | 3         | 22        | 18                     | 4                       | 80                      | 8                      | 290 | 7,44                     | 247                          | 53                                     | 1,48                                   | 81                      |
| 380       | 300                      | 25,5            | 3         | 24        | 20                     | 4                       | 80                      | 8                      | 290 | 6,27                     | 246                          | 54                                     | 1,36                                   | 90                      |
| 381       | 200                      | 35              | 3         | 19        | 14                     | 4                       | 80                      | 12,5                   | 185 | 9,81                     | 151                          | 49                                     | 1,16                                   | 62                      |
| 382       | 200                      | 34              | 3         | 20        | 14                     | 4                       | 80                      | 10,5                   | 220 | 9,81                     | 152                          | 48                                     | 1,24                                   | 67                      |
| 383       | 200                      | 31,4            | 3         | 22        | 14                     | 4                       | 80                      | 9                      | 210 | 9,81                     | 153                          | 47                                     | 1,34                                   | 72                      |
| 384       | 200                      | 31,7            | 3         | 24        | 14                     | 4                       | 80                      | 8                      | 290 | 9,81                     | 154                          | 46                                     | 1,36                                   | 77                      |

Таблица 18

$l = 7,00 \text{ м}$

| № П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | k <sub>св</sub> | α   | b  | h <sub>1</sub> | d <sub>1с</sub> | l <sub>1с</sub> | s <sub>1</sub> | m   | f <sub>сгр</sub> | p + g | g <sub>св</sub> | g <sub>1с</sub> | G <sub>св</sub> |
|-------|--------------------------|-----------------|-----|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----|------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
|       |                          |                 |     |    |                |                 |                 |                |     |                  |       |                 |                 |                 |
| 385   | 700                      | 13,9            | 4,5 | 18 | 25             | 5,5             | 125             | 11             | 210 | 5,73             | 602   | 98              | 3,89            | 123             |
| 386   | 700                      | 20              | 4,5 | 20 | 27             | 5,5             | 125             | 11             | 210 | 5,03             | 602   | 98              | 3,50            | 137             |
| 387   | 700                      | 19,9            | 4,5 | 22 | 29             | 5,5             | 125             | 11             | 210 | 4,48             | 603   | 97              | 3,43            | 150             |
| 388   | 700                      | 29              | 4,5 | 24 | 33             | 5,5             | 125             | 11,5           | 200 | 3,65             | 593   | 102             | 2,77            | 172             |
| 389   | 600                      | 21,9            | 4,5 | 18 | 23             | 5,5             | 125             | 11,5           | 200 | 6,21             | 508   | 92              | 3,70            | 116             |
| 390   | 600                      | 22              | 4,5 | 20 | 25             | 5,5             | 125             | 11,5           | 200 | 5,40             | 508   | 92              | 3,33            | 129             |
| 391   | 600                      | 22,1            | 4,5 | 22 | 27             | 5,5             | 125             | 11,5           | 200 | 4,75             | 507   | 93              | 3,03            | 143             |
| 392   | 600                      | 22,4            | 4,5 | 24 | 29             | 5,5             | 125             | 11,5           | 200 | 4,24             | 506   | 94              | 2,77            | 158             |
| 393   | 500                      | 22              | 4   | 18 | 20             | 5               | 100             | 10             | 230 | 7,42             | 422   | 78              | 2,80            | 97              |
| 394   | 500                      | 22,3            | 4   | 20 | 22             | 5               | 100             | 10             | 230 | 6,34             | 422   | 78              | 2,53            | 109             |
| 395   | 500                      | 22,4            | 4   | 22 | 24             | 5               | 100             | 10             | 230 | 5,45             | 422   | 78              | 2,30            | 121             |
| 396   | 500                      | 22,8            | 4   | 24 | 26             | 5               | 100             | 10             | 230 | 4,79             | 420   | 80              | 2,10            | 134             |
| 397   | 400                      | 25,5            | 4   | 18 | 18             | 5               | 100             | 11             | 210 | 8,19             | 329   | 71              | 2,56            | 90              |
| 398   | 400                      | 24,8            | 4   | 20 | 18             | 5               | 100             | 10             | 230 | 8,20             | 331   | 69              | 2,52            | 97              |
| 399   | 400                      | 25,3            | 4   | 22 | 20             | 5               | 100             | 10             | 230 | 6,84             | 329   | 71              | 2,30            | 109             |
| 400   | 400                      | 25,7            | 4   | 24 | 22             | 5               | 100             | 10,5           | 220 | 5,82             | 328   | 72              | 2,10            | 121             |
| 401   | 300                      | 27,6            | 3,5 | 18 | 15             | 4,5             | 90              | 10             | 230 | 10,14            | 242   | 58              | 2,05            | 73              |
| 402   | 300                      | 28,6            | 3,5 | 20 | 17             | 4,5             | 90              | 10,5           | 220 | 8,12             | 240   | 60              | 1,76            | 84              |
| 403   | 300                      | 27,8            | 3,5 | 22 | 17             | 4,5             | 90              | 9              | 260 | 8,10             | 241   | 59              | 1,89            | 90              |
| 404   | 300                      | 28,6            | 3,5 | 24 | 19             | 4,5             | 90              | 10             | 230 | 6,71             | 240   | 60              | 1,54            | 101             |
| 405   | 200                      | 40,8            | 3,5 | 18 | 15             | 4,5             | 90              | 19,5           | 120 | 8,83             | 143   | 57              | 1,07            | 72              |
| 406   | 200                      | 39,3            | 3,5 | 20 | 15             | 4,5             | 90              | 16             | 145 | 8,70             | 145   | 55              | 1,16            | 74              |
| 407   | 200                      | 38,5            | 3,5 | 22 | 15             | 4,5             | 90              | 14,5           | 160 | 8,78             | 146   | 54              | 1,16            | 83              |
| 408   | 200                      | 37,8            | 3,5 | 24 | 15             | 4,5             | 90              | 12             | 190 | 8,81             | 147   | 53              | 1,27            | 89              |

Таблица 19

$l = 7,00 \text{ м}$

| № П/П | q<br>в кг/м <sup>2</sup> | k <sub>св</sub> | α   | b  | h <sub>1</sub> | d <sub>1с</sub> | l <sub>1с</sub> | s <sub>1</sub> | m   | f <sub>сгр</sub> | p + g | g <sub>св</sub> | g <sub>1с</sub> | G <sub>св</sub> |
|-------|--------------------------|-----------------|-----|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----|------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
|       |                          |                 |     |    |                |                 |                 |                |     |                  |       |                 |                 |                 |
| 409   | 700                      | 21              | 5   | 18 | 24             | 6               | 150             | 12             | 190 | 6,10             | 597   | 103             | 5,00            | 130             |
| 410   | 700                      | 20,1            | 5   | 20 | 26             | 6               | 150             | 12             | 190 | 5,31             | 601   | 99              | 4,50            | 138             |
| 411   | 700                      | 21,2            | 5   | 22 | 28             | 6               | 150             | 12             | 190 | 4,69             | 596   | 104             | 4,10            | 160             |
| 412   | 700                      | 20,6            | 5   | 24 | 30             | 6               | 150             | 12             | 190 | 4,20             | 600   | 100             | 3,76            | 169             |
| 413   | 600                      | 23              | 5   | 18 | 22             | 6               | 150             | 12,5           | 185 | 6,70             | 503   | 97              | 4,90            | 122             |
| 414   | 600                      | 22,1            | 5   | 20 | 24             | 6               | 150             | 13             | 180 | 5,72             | 507   | 93              | 4,28            | 130             |
| 415   | 600                      | 23,5            | 5   | 22 | 26             | 6               | 150             | 13             | 190 | 5,03             | 511   | 99              | 3,90            | 152             |
| 416   | 600                      | 23,8            | 5   | 24 | 28             | 6               | 150             | 13             | 180 | 4,45             | 500   | 100             | 3,56            | 168             |
| 417   | 500                      | 23,1            | 4,5 | 18 | 19             | 5,5             | 125             | 11             | 210 | 8,13             | 419   | 81              | 3,88            | 102             |
| 418   | 500                      | 23,7            | 4,5 | 20 | 21             | 5,5             | 125             | 11             | 210 | 6,64             | 417   | 83              | 3,50            | 116             |
| 419   | 500                      | 24,1            | 4,5 | 22 | 23             | 5,5             | 125             | 11             | 210 | 5,99             | 415   | 83              | 3,18            | 130             |
| 420   | 500                      | 24,5            | 4,5 | 24 | 25             | 5,5             | 125             | 11,5           | 200 | 5,07             | 414   | 86              | 2,90            | 144             |
| 421   | 400                      | 26,9            | 4,5 | 18 | 17             | 5,5             | 125             | 12             | 190 | 9,15             | 325   | 75              | 3,50            | 95              |
| 422   | 400                      | 27,6            | 4,5 | 20 | 19             | 5,5             | 125             | 12,5           | 185 | 7,47             | 323   | 77              | 3,12            | 108             |
| 423   | 400                      | 26,9            | 4,5 | 22 | 19             | 5,5             | 125             | 11             | 210 | 7,48             | 325   | 75              | 3,18            | 116             |
| 424   | 400                      | 27,6            | 4,5 | 24 | 21             | 5,5             | 125             | 11,5           | 200 | 6,26             | 323   | 77              | 2,90            | 130             |
| 425   | 300                      | 31,4            | 4   | 18 | 16             | 5               | 100             | 14             | 185 | 9,13             | 234   | 66              | 2,20            | 83              |
| 426   | 300                      | 30,6            | 4   | 20 | 16             | 5               | 100             | 11,5           | 200 | 9,12             | 236   | 64              | 2,41            | 90              |
| 427   | 300                      | 30              | 4   | 22 | 16             | 5               | 100             | 10             | 210 | 9,14             | 237   | 63              | 2,52            | 97              |
| 428   | 300                      | 30,9            | 4   | 24 | 18             | 5               | 100             | 11             | 210 | 7,04             | 235   | 65              | 2,25            | 109             |
| 429   | 200                      | 46,5            | 4   | 18 | 16             | 5               | 100             | 32             | 73  | 8,04             | 135   | 65              | 0,90            | 82              |
| 430   | 200                      | 44,9            | 4   | 20 | 16             | 5               | 100             | 25             | 83  | 8,03             | 137   | 63              | 1,02            | 88              |
| 431   | 200                      | 44              | 4   | 22 | 16             | 5               | 100             | 20             | 115 | 7,55             | 138   | 62              | 1,15            | 95              |
| 432   | 200                      | 42,9            | 4   | 24 | 16             | 5               | 100             | 17             | 135 | 8,04             | 140   | 60              | 1,24            | 101             |



$q_{св}$  — собственный вес квадратного метра настила;

$p$  — временная нагрузка на  $1 \text{ м}^2$ ;

$g$  — постоянная нагрузка на  $1 \text{ м}^2$ ;

$g_{гв}$ , кг  $\text{м}^2$  — вес гвоздей на  $1 \text{ м}^2$  настила;

$q_{ср} = q_{св} + p + g + g_{гв}$  — фактическая расчетная нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  настила;

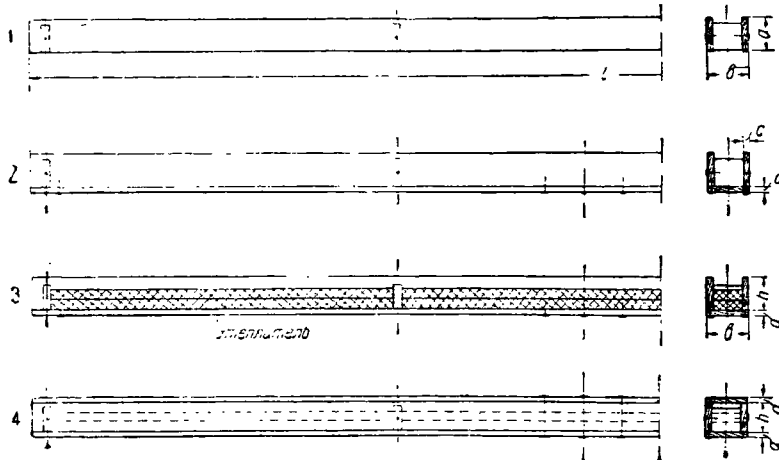
$k_{св} = \frac{1,0 \cdot q_{св} + g_{гв}}{L \cdot q}$  — условный весовой коэффициент,

характеризующий степень использования материала в конструкции;

$I_{ср} = I_{дир} + I_{св}$  — величина конструктивного строительного подъема в середине пролета.

#### 4. Производство работ

Горизонтальные и вертикальные доски должны быть изготовлены необходимой по проекту длины. В горизонтальных досках размечаются места забивки гвоздей. Разметка может вестись при помощи шаблонов, сделанных из фанеры.



Фиг. 5. Схема сборки коробчатой балки

В каждой балке необходимо при изготовлении ее установить диафрагмы из кусков досок, толщина которых должна быть равна толщине стенок балки, ширина — внутренней ширине балки  $b_1 = b - 2c$ , а высота на 2 см меньше высоты вертикальных досок.

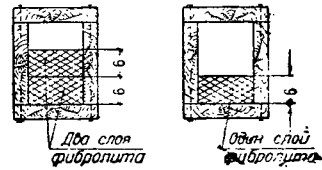
В балках пролетом от 3,5 до 5,0 м следует ставить по три диафрагмы на балку: две диафрагмы по торцам и одну в середине пролета; в балках пролетом от 5,0 до 7,0 м — по четыре диафрагмы: две по торцам и две в третьих пролета.

Коробчатый настил может быть утеплен фибролитом, соломитом и т. п. Фибролит приготавливают полосами шириной, равной внутренней ширине балки, и укладывают при теплой кровле в два слоя, при холодной — в один слой (фиг. 4).

Сборка балок может производиться по следующему scheme:

1. Вертикальные доски прибиваются гвоздями к диафрагмам (фиг. 5).

2. Нижняя горизонтальная доска прибивается несколькими гвоздями в середине пролета к вертикальным доскам.



Фиг. 4. Расположение утеплителя

3. Укладывается утеплитель — фибролит или васынка. Чтобы засыпка не высыпалась во время производства работ и во время транспортировки и укладки балок, прибивают примерно через 1 м поперечные планки, подложив под них в продольном направлении по две-три драйки.

4. Верхняя горизонтальная доска прибивается несколькими гвоздями в середине пролета к вертикальным доскам.

5. Балке придается конструктивный строительный подъем второго рода согласно § 197—206 ТУ и Н. Конструктивный строительный подъем осуществляется путем выгибания досок до забивки гвоздей в специальной станке<sup>1</sup>.

6. После придания балке конструктивного строительного подъема забивают полное количество гвоздей, указанное в таблице, и вынимают балку из станка.

7. При устройстве настила для кровельного покрытия необходимо предусмотреть холодный продух, сообщаящийся с наружным воздухом. Для этой цели можно использовать сквозные каналы в балках, получающиеся вследствие того,

что диафрагмы на 2 см ниже вертикальных досок.

Для уменьшения возможности попадания через продухи искр или огня торцы балок независимо от вида утеплителя засыпаются шлаком.



Фиг. 6. Выходное отверстие продуха

Засыпку шлаком можно проводить после того, как балка уже установлена на место, для чего в верхней доске по торцам необходимо заранее сделать треугольные пропилы, как показано на фиг. 6.

<sup>1</sup> См. «Конструктивный строительный подъем».

Инж. В. С. ДЕРЕВЯГИН

### В. ДВУТАВРОВЫЕ ГВОЗДЕВЫЕ БАЛКИ СО СПЛОШНОЙ СТЕНКОЙ ОГРАНИЧЕННОЙ ВЫСОТЫ

#### 1. Общие сведения

Двухтавровые гвоздевые балки могут применяться в перекрытиях с небольшой конструктивной высотой при пролетах от 4 до 6,5 м. Недостатком этих балок является большой процент расхода металла в виде гвоздей (в среднем 8%), достоинством — простота изготовления и надежность конструкции.

Двухтавровые гвоздевые балки в отличие от сплошных позволяют обойтись мелким сортаментом леса и избавиться от провисания перекрытия путем придания балкам конструктивного строительного подъема.

Для достижения монолитности перекрытия смежные балки после установки на место соединяются в середине пролета косо поставленными гвоздями. Та же цель достигается нашивкой сверх балок слоя досок в поперечном к балкам направлении.

#### 2. Пример расчета

Балке придается конструктивный строительный подъем второго рода.

Расчетный пролет балки  $l = 6$  м.

Полезная нагрузка  $p = 360$  кг/м.

Собственный вес балки (полагая  $k_{св} = 8$ ):

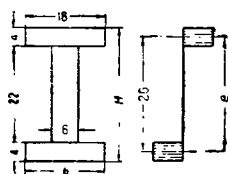
$$g_{св} = \frac{p}{\frac{1000}{k_{св}l} - 1} = \frac{360}{\frac{1000}{8 \cdot 6} - 1} = 18,3 \approx 18 \text{ кг/м.}$$

Полная нагрузка:

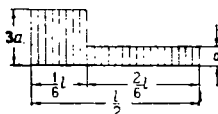
$$q = p + g_{св} = 360 + 18 = 378 \text{ кг/м.}$$

Внешний изгибающий момент:

$$M_1 = \frac{ql^2}{8}.$$



Фиг. 1



Фиг. 2

Момент внутренней пары (фиг. 1):  $M_2 = Ne$ . Так как  $M_1 = M_2$ , то нормальная сила в поперечной доске:

$$N = \frac{ql^2}{8e} = \frac{378 \cdot 600^2}{8 \cdot 26} = 6540 \text{ кг;}$$

$$n = \frac{N}{F} = \frac{6540}{7 \cdot 10^4} = 91 \text{ кг/см}^2 < [n] = 100 \text{ кг/см}^2.$$

Полная сдвигающая сила на половине пролета балки:

$$T_0^{l/2} = N = 6540 \text{ кг.}$$

Для восприятия сдвигающей силы ставим гвозди  $\varnothing 5,5$  мм;  $l : 125$  мм;

$$[T_1]_{св} = 92 \text{ кг.}$$

Расстановку гвоздей принимаем по схеме фиг. 2. Считаем, что полная сдвигающая сила воспринимается гвоздями, расположенными на протяжении трети пролета от конца балки. Тогда на концевую часть на протяжении  $l/6$  приходится 75% от полной сдвигающей силы (фиг. 2 и 3):

$$0,75T_0^{l/2} = 0,75 \cdot 6540 = 4900 \text{ кг.}$$

Необходимое количество гвоздей, приходящееся на концевую часть:

$$m_{св} = \frac{4900}{92} = 53,3 \text{ шт.}$$

Гвозди ставятся в 6 рядов. Расстояние между гвоздями вдоль волокон (шаг гвоздей):

$$S_{св} = \frac{100 \cdot 6}{53,3} = 11,2 \text{ см.}$$

Принимаем  $S = 11$  см. В остальной части балки гвозди ставятся в 2 ряда. Полная длина балки 6,1 м. Полное количество гвоздей на всю балку:

$$m = \frac{610}{11} \left( 2 \cdot 2 + \frac{1}{6} \cdot 16 \right) = \frac{610}{11} \cdot 6,67 = 370 \text{ шт.}$$

Вес гвоздей  $28 \cdot 0,37 = 10$  кг. Вес древесины на 1 пог. м балки:

$$g = (0,04 \cdot 0,18 \cdot 2 + 0,06 \cdot 0,22 \cdot 1,67) \cdot 500 = 18,2 \text{ кг/м.}$$

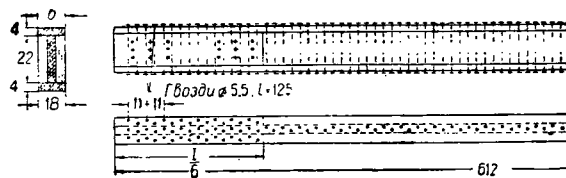
Полный вес древесины  $G = 18,2 \cdot 6,1 = 111$  кг.

Полный вес балки  $111 + 10 = 121$  кг.

Процент расхода металла  $\frac{10}{111} \cdot 100 = 9\%$ .

Вес 1 пог. м балки  $\frac{121}{6,1} = 20$  кг.

$$k_{св} = \frac{1000 \cdot 20}{(360 \div 20) \cdot 6} = 9.$$



Балке придается конструктивный строительный подъем  $f_{стр} = 4$  см

Фиг. 3. Двухтавровая гвоздевая балка с цельной стенкой

#### 3. Определение стрелки строительного подъема<sup>1</sup>

$$f_{сдв} = \frac{\sum \delta l}{3e} = \frac{0,1 \cdot 2 \cdot 600}{3 \cdot 26} = 1,54 \text{ см;}$$

$$\frac{e}{l} = \frac{26}{600} = 0,043 \text{ при } n = 91 \text{ кг/см}^2;$$

по номограмме (стр. 152) находим:

$$f_{упр} = \frac{l}{250} = \frac{600}{250} = 2,4 \text{ см;}$$

$$f_{стр} = f_{упр} + f_{сдв} = 2,40 + 1,54 = 3,94 \approx 4 \text{ см.}$$

<sup>1</sup> О способах придания балкам подъема см. статью В. Г. Печникова «Конструктивный строительный подъем».

Инж. В. С. ДЕРЕВЯГИН

## VI. БАЛКИ НА КОСЫХ СОСНОВЫХ ШПОНКАХ

### 1. Общие сведения

Балки на косых продольных шпонках хотя и дают по сравнению с гвоздевыми балками экономию металла (расход металла в среднем равен 3—4%), но обладают все же существенными недостатками: 1) требуют высокой квалификации плотников и 2) отличаются жесткостью, а потому малой надежностью соединения. Поэтому балки на шпонках могут применяться лишь в исключительных случаях и только при условии обеспечения надлежащего качества их изготовления.

Применение поперечных и прямых продольных шпонок из условий расстановки шпонок возможно только в балках малой относительной высоты.

Проектирование балок на поперечных и продольных шпонках отличается от проектирования балок на косых шпонках только дополнительным расчетом: поперечных шпонок — на смятие и скалывание и продольных шпонок — на скалывание.

Относительная высота балок на косых шпонках может колебаться в широких пределах от  $\frac{H}{l} = \frac{1}{25}$  до  $\frac{H}{l} = \frac{1}{15}$  при двух брусках и до  $\frac{H}{l} = \frac{1}{10}$  при трех брусках.

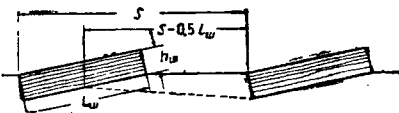
По возможности следует проектировать балки из двух брусков, так как с увеличением количества брусков изготовление балки значительно усложняется.

Косые шпонки допускают более тесную их расстановку и тем самым позволяют проектировать балки большей относительной высоты, чем балки на поперечных и прямых продольных шпонках.

Отсутствие в самих косых шпонках (но не в брусках) явления скалывания позволяет перейти от дубовых шпонок к сосновым, чем не только достигается экономия, но иногда повышается и надежность шпоночного соединения в силу большей упругости материала шпонок, а потому и лучшего распределения между ними усилий.

Высота шпонки назначается не более одной пятой высоты бруса:

$$h_{шп} = \frac{h}{5} \text{ (фиг. 1).}$$



Фиг. 1. Расположение косых шпонок

Длина нормальной шпонки должна быть не менее пятикратной высоты шпонки:

$$l_{шп} = 5h_{шп}.$$

При такой длине шпонок поворот их, возникающий вследствие распора и усушки дерева, меньше влияет на неравномерность напряжений в гнезде и на неуравную осадку балок.

При выборе формы шпонок в целях лучшей работы на скалывание бруса следует отдать предпочтение прямоугольным шпонкам (фиг. 1),

а не остроугольным с торцом, нормальным к оси балки (фиг. 2).

Допускаемое напряжение на смятие шпоночного соединения ввиду малого угла наклона волокна может быть принято равным:

$$[n_{см}] = 80 \text{ кг/см}^2.$$

Наименьший шаг шпонок (расстояние между центрами их) и расстояние от конца балки до центра первой шпонки можно принять  $S_{min} = 9,5 h_{шп}$ .



Фиг. 2. Нерекондуемая форма косых шпонок

При указанных выше размерах шпонки этот минимальный шаг отвечает равнопрочности соединения по смятию и по скалыванию (по косому направлению от начала шпонки до середины следующей шпонки) (пунктир на фиг. 1). Болты ставятся между шпонками; диаметр их определяется по усилию от распора крайней шпонки. Усилие в болте равно:

$$N_0 = \frac{T_{шп} \cdot h_{шп}}{l_{шп}}, \text{ при } l_{шп} = 5h_{шп} \text{ усилие } N_0 = \frac{T_{шп}}{5}.$$

В крайних третях балки рекомендуется располагать шпонки на равных расстояниях, в средней трети можно обойтись без шпонок. Шпонки, расположенные на длине  $\frac{1}{3} l$ , должны воспринять полную сдвигающую силу  $T_0^{1/2}$ , увеличенную ввиду неравномерности работы шпонок на 20—50%.

При проектировании шпоночных балок часто допускают следующую ошибку: при разбивке шпонок аналогично отогнутым стержням в железобетонных балках (в центрах тяжести равнозначных площадей трапеций треугольной эпоры) крайняя шпонка попадает настолько близко к концу балки, что расстояние от края шпонки до конца балки обычно бывает менее  $S_{min} = 8h_{шп}$ , вследствие чего не обеспечивается достаточная длина на скалывание в растянутом бруске.

Расчет шпоночного соединения по смятию является условным.

Для шпоночных балок опасно не смятие, а скалывание, возможность которого устраняется установлением минимального шага  $S_{min}$ . Смятие же в шпоночном соединении ведет только к дополнительному провисанию, которое легко устраняется приданием балкам конструктивного строительного подъема.

### 2. Пример расчета балки из двух брусков

Требуется спроектировать балку по заданной высоте  $H = 40 \text{ см}$ , расчетному пролету  $l = 6 \text{ м}$  при основных допускаемых напряжениях по ТУ и Н 1931 г. без поправочного коэффициента.

Нагрузка:

1) полезная — 1 200 кг/м;

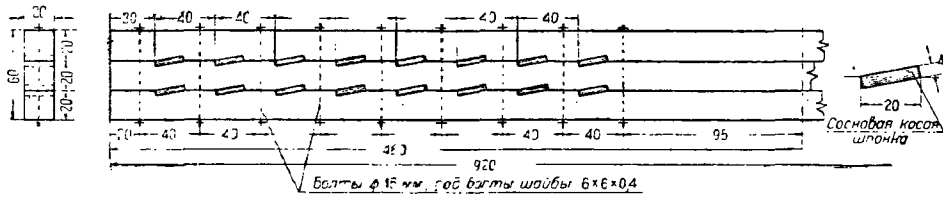
2) собственный вес балки (полагая  $k_{св} = 5$ ):

$$g_{св} = \frac{P}{k_{св} \cdot l - 1} = \frac{1200}{5 \cdot 6 - 1} = 37,1 \approx 37 \text{ кг/м}.$$

Полная нагрузка:

$$q = 1200 + 37 = 1237 \text{ кг/м}.$$





Фиг. 6. Балка на косых шпонках из трех брусьев

Усилие в болте:

$$N_b = \frac{T_{\text{шп}}}{5} = \frac{6400}{5} = 1280 \text{ кг};$$

ставим болты  $\varnothing 16$  мм.

Расчетное количество шпонок на полную сдвигающую силу:

$$\frac{N}{T_{\text{шп}}} = \frac{28800}{6400} = 4,5 \text{ шт.}$$

Полная длина балки  $l' = 9,20$  м.

Шаг шпонок принимаем равным  $S = 40$  см.

Шпонки, размещаемые в крайних третях пролета балки:

$$m = \frac{920}{3 \cdot 40} = 7,7 \text{ шт.}$$

Принимаем  $m = 8$  шт. (Фиг. 6).

При определении стрелы конструктивного строительного подъема величина  $f_{\text{упр}}$  находится по номограмме на стр. 152:

$$\frac{e}{l} = \frac{40}{900} = 0,0444$$

при

$$[n] = 90, \quad f_{\text{упр}} = \frac{l}{260};$$

$$f_{\text{упр}} = \frac{l}{260} = \frac{900}{260} = 3,5 \text{ см};$$

$$f_{\text{сдв}} = \frac{\sum \delta l}{3e} = \frac{2 \cdot 0,15 \cdot 900}{3 \cdot 40} = 2,25 \text{ см};$$

$$f_{\text{стр}} = 3,50 + 2,25 = 5,75 \text{ см.}$$

Принимаем

$$f_{\text{стр}} = 6 \text{ см.}$$

Инж. В. Г. ПИСЧИКОВ

## VII. БАЛКИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НА ГВОЗДЯХ

### 1. Общие сведения

При проектировании междуэтажных перекрытий нередко встречается необходимость в осуществлении мощных прогонов, имеющих небольшой пролет, но несущих значительную нагрузку от второстепенных балок.

Проектированию монолитных деревянных прогонов препятствует ограниченность сортамента леса.

Естественным и рациональным выходом из положения является усиление достаточно мощной монолитной балки сверху и снизу нашивками из досок, проще и экономичнее всего присоединяемых к основной балке гвоздями.

Этот род соединения делает составные балки универсальными в отношении возможности их изготовления в любых условиях строительства.

Экономические соображения, главным образом в отношении расхода гвоздей, заставляют задаваться нашивками не слишком большой толщины. При этих условиях желательно полностью использовать основную балку и передать на нее ту часть нагрузки, которую она может нести подобно с ее мощностью.

В результате приходим к выводу о целесообразности проектирования таких балок, исходя из условия придания им конструктивного строительного подъема первого рода.

В отношении стрелы прогиба под расчетной нагрузкой эти балки не отличаются от разрезных монолитных балок того же поперечного сечения.

Отсутствие стрелы прогиба под расчетной нагрузкой, имеющее место в случаях придания бал-

кам конструктивного строительного подъема второго рода, не является безусловно необходимым. Это требование вызывается не конструктивными, а исключительно архитектурно-эстетическими соображениями, обычно не имеющими места при проектировании прогонов междуэтажных перекрытий промышленных зданий.

Составные гвоздевые прогоны с подъемом первого рода, рассчитанные как балки монолитного сечения, должны найти применение во всех тех случаях, когда более совершенные конструкции балок на пластинчатых нагелях не могут быть применены вследствие малого объема работ и нерентабельности или же технической невозможности организации их изготовления.

### 2. Таблицы балок прямоугольного сечения на гвоздях<sup>1</sup>

#### 1) Принцип составления таблиц

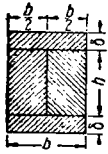
Таблицы составлены при допустимых напряжениях, полученных умножением основных напряжений по ТУ и Н на коэффициент 0,9.

Таблицы охватывают пролеты 4,0, 4,5, 5,0, 5,5 и 6,0 м. За исходные данные при составлении таблиц приняты высота основных (средних) досок  $h$  и толщина нашивок  $\delta$  (фиг. 1).

Величина  $h$  в таблицах имеет три значения: 22, 24 и 26 см.

<sup>1</sup> Составлены в отделе технических исследований и стандартов Промстройпроекта инж. В. А. Замарасным под руководством автора

Толщина нашивок для каждого размера высоты средних досок имеет следующие значения: 2,5, 3,0, 3,5, 4,0, 4,5, 5, 6, 7, 8, 9 и 10,0 см.



Фиг. 1. Поперечное сечение балки

Ширина сечений изменяется от 18,0 до 26,0 см через 2,0 см. Для составленных таким образом сечений определены допустимые интенсивности равномерно распределенных нагрузок в кг/м балки.

В таблицах даны полезные нагрузки, полученные как разность между допустимой нагрузкой и собственным весом балок, который исчислялся при объемном весе древесины 550 кг/м<sup>3</sup>.

Для различных пролетов допустимые полезные нагрузки изменяются в пределах, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Допускаемые полезные нагрузки

| Пролет в м      | 4,0      | 4,5      | 5,0      | 5,5      | 6,0      |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Нагрузка в кг/м | 380-3070 | 590-2520 | 420-2070 | 410-2010 | 400-1810 |

2) Размеры гвоздей

Необходимая длина гвоздя в зависимости от его диаметра и от толщины нашивок может быть определена по формуле:

$$l_{гв} = \delta + a_n + 1,5d + 4, \quad (1)$$

где  $\delta$  — толщина нашивных досок;

$a_n$  — необходимая рабочая длина гвоздя в пределах средней доски из условия равнопрочности его по изгибу и по смятию древесины;  $1,5d$  — нерабочая длина гвоздя (заостренный конец);

$4$  — толщина шва между нашивкой и средней доской, принимаемая равной 1 мм, что составляет около 0,2  $d$ .

При допуске напряжении на смятие  $[n_c] = 0,9 \cdot 80 = 72 \text{ кг/см}^2$  имеем:

$$a_n = 1,67 \cdot 0,8d \sqrt{\frac{1800}{72}} = 6,7d. \quad (2)$$

Для этих условий длина гвоздя:

$$l_{гв} = \delta + 6,7d + 1,5d + 0,2d = \delta + 8,4d. \quad (3)$$

Для более плотной и надежной связи нашивок со средними досками принято:

$$l_{гв} = \delta + 10d. \quad (3')$$

На основании техно-экономических сопоставлений для каждой толщины нашивок приняты определенные размеры гвоздей, указанные в

с учетом коэффициента дефицитности  $k = 5$ .

табл. 2. Там же приведены допускаемые усилия  $T_{гв}$  на один срез гвоздя, принятые при составлении таблиц.

3) Метод расчета балок

Балки рассчитаны с учетом конструктивного строительного подъема первого рода.

Нагрузки определены для допускаемого напряжения при изгибе  $[n_u] = 100 \text{ кг/см}^2$  и при прогибе  $\frac{f_{max}}{l} = \frac{1}{400}$ .

а) Расчет по нормальным напряжениям

Для простой балки, несущей равномерно распределенную нагрузку, имеем:

$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} = [n_u] W,$$

отсюда допустимая нагрузка:

$$q_u = \frac{8 [n_u] W}{l^2} = 800 \frac{W}{l^2}, \quad (5)$$

где  $l$  — расчетный пролет балки,

$W$  — момент сопротивления относительно оси  $x - x$ .

б) Расчет по жесткости

Прогиб по середине пролета:

$$f_{max} = \frac{5ql^4}{384EI}; \quad (6)$$

при  $\frac{f_{max}}{l} = \frac{1}{400}$  имеем:

$$\frac{5ql^3}{384EI} = \frac{1}{400},$$

откуда

$$q_f = \frac{384EI}{5 \cdot 400l^3} = 19200 \frac{I}{l^3}, \quad (7)$$

где  $E$  — модуль продольной упругости дерева, принимаемый равным  $10^5 \text{ кг/см}^2$ ;

$I$  — момент инерции полного поперечного сечения балки относительно оси  $x - x$ .

в) Расчет по прочности рабочего шва.

Расчет гвоздей производился по двухступенчатой эпюре сдвигающих сил, изображенной на фиг. 2.



Фиг. 2. Эпюра размещения гвоздей

Площади прямоугольников этой эпюры равновелики соответствующим площадям действительной эпюры, показанной на фиг. 2 пунктиром.

Таблица 2

Размеры гвоздей, принятые при составлении таблиц, и допускаемые усилия  $T_{гв}$  на срез гвоздя

| $\delta$ мм                       | 25              | 30            | 35            | 40            | 45              | 50             | 60             | 70               | 80               | 90               | 100              |
|-----------------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| $d \times l$<br>мм $\times$<br>мм | $3,5 \times 60$ | $4 \times 40$ | $4 \times 80$ | $4 \times 80$ | $4,5 \times 90$ | $5 \times 100$ | $5 \times 110$ | $5,5 \times 125$ | $7,5 \times 150$ | $5,5 \times 150$ | $5,5 \times 150$ |
| $T_{гв}$ кг                       | 35              | 46            | 46            | 46            | 58              | 72             | 72             | 87               | 87               | 87               | 87               |

Для этих условий сдвигающая сила на единице длины шва у опоры:

$$T_0 = \frac{0,75ql}{2} \cdot \frac{S}{I}, \quad (8)$$

где  $S$  — статический момент сечения нашивки относительно  $x-x$ .

При предельном насыщении нашивки гвоздями диаметра, соответствующего ее толщине, шов может воспринять сдвигающую силу:

$$T_0 = m_0 T_{ис}, \quad (9)$$

где  $m_0$  — наибольшее количество гвоздей, размещающееся в единице длины шва балки;

$T_{ис}$  — допускаемое усилие на один гвоздь.

Подставляя вместо  $T_0$  его значение, после преобразования получим:

$$q_{ис} = 2,65 \frac{I}{lS} m_0 T_{ис}. \quad (10)$$

При составлении таблиц за величину допускаемой нагрузки принималось наименьшее из значений, получаемых по ф-лам (5), (7) и (10).

Получаемые по ф-ле (12) значения округлились до 5 мм.

**5) Пример пользования таблицами**

Проектное задание:

Расчетный пролет балки  $l = 5,0$  м.

Нагрузка  $q = 1500$  кг/м.

Пиломатериалы — полусухая сосна с влажностью от 18 до 23%.

Марка леса соответствует классу сооружения.

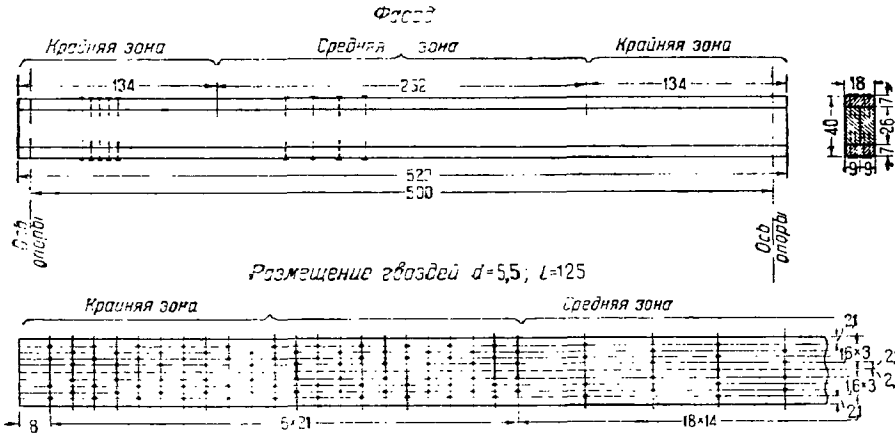
Допускаемое напряжение на изгиб  $[n_{из}] = 100$  кг/см<sup>2</sup>.

Относительный прогиб  $\frac{f}{l} = \frac{1}{400}$ .

Высота балки и сортамент пиломатериалов не ограничены.

Требуется из числа возможных решений выбрать наиболее экономичное.

а) Допуская пятипроцентное отступление от заданных напряжений и прогиба, определим пределы возможного отклонения от расчетной нагрузки.



**Примечание.**  
 Две средние доски 9 × 26 см могут заменяться целым бруском 18 × 26 см

Строительный подъем по середине балки:  $f_{стр} = 15$  мм

Расход дерева на балку 0,374 м<sup>3</sup>, расход гвоздей 10,6 кг

Фиг. 3. Типовой чертеж балки

В соответствии с приданием балкам конструктивного строительного подъема первого рода моменты инерции и моменты сопротивления определялись без учета швов, как для монолитных прямоугольных сечений.

**4) Конструктивный строительный подъем балок**

Необходимая величина строительного подъема по середине пролета определена по формуле, приведенной в § 197 ТУ и Н:

$$f_{стр} = \frac{l \sum \delta}{3e}. \quad (11)$$

Сдвиг гвоздей  $\delta$  принят равным 1,5 мм.

При наличии двух швов подъем в миллиметрах:

$$f_{стр} = \frac{2 \cdot 1,5l}{3e} = \frac{l}{e}. \quad (12)$$

При неполном использовании допускаемых напряжений или жесткости:

$$q_1 = 1,05 q = 1,05 \cdot 1500 = 1575 \text{ кг/м.}$$

При превышении допускаемых напряжений или прогиба:

$$q_2 = 0,95 q = 0,95 \cdot 1500 = 1425 \text{ кг/м.}$$

б) После определения  $q_1$  и  $q_2$  отыскиваем в таблицах для  $h = 26,0; 24,0$  и  $22,0$  см значения  $q$  в установленных пределах и из числа возможных решений для каждого значения  $h$  выбираем наиболее экономичное.

Этому требованию согласно калькуляции удовлетворяют:

- 1) при  $l = 5,0$  м и  $h = 26,0$  см балка с расчетной нагрузкой  $q = 1430$  кг/м;
- 2) при  $l = 5,0$  м и  $h = 24,0$  см балка с расчетной нагрузкой  $q = 1470$  кг/м;
- 3) при  $l = 5,0$  м и  $h = 22,0$  см балка с расчетной нагрузкой  $q = 1470$  кг/м.

Таблицы балок прямоугольного сечения на гвоздях

$l = 4,0$  м  $h = 26,0$  см

Таблица 1

$l = 4,0$  м  $h = 22,0$  см

Таблица 3

| q<br>в кг/м | Доски |      | Гвозди |      |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|--------|------|-----|------------------|
|             | b     | δ    | d      | l    | t   |                  |
|             | в см  | в см | в мм   | в мм | т   |                  |
| 1 300       | 18    | 2,5  | 3,5    | 60   | 440 | 15               |
| 1 440       | 18    | 3    | 4      | 60   | 410 | 15               |
| 1 450       | 20    | 2,5  | 3,5    | 60   | 490 | 15               |
| 1 590       | 22    | 2,5  | 3,5    | 60   | 540 | 15               |
| 1 590       | 20    | 3    | 4      | 80   | 456 | 15               |
| 1 590       | 18    | 3,5  | 4      | 80   | 496 | 15               |
| 1 700       | 18    | 4    | 4      | 80   | 550 | 15               |
| 1 740       | 24    | 2,5  | 3,5    | 60   | 588 | 15               |
| 1 760       | 22    | 3    | 4      | 80   | 500 | 15               |
| 1 760       | 20    | 3,5  | 4      | 80   | 540 | 15               |
| 1 810       | 18    | 4,5  | 4,5    | 90   | 490 | 15               |
| 1 890       | 20    | 4    | 4      | 80   | 610 | 15               |
| 1 890       | 18    | 5    | 5      | 100  | 426 | 15               |
| 1 890       | 26    | 2,5  | 3,5    | 60   | 636 | 15               |
| 1 920       | 24    | 3    | 4      | 80   | 546 | 15               |
| 1 940       | 22    | 3,5  | 4      | 80   | 594 | 15               |
| 2 000       | 20    | 4,5  | 4,5    | 90   | 544 | 15               |
| 2 070       | 26    | 3    | 4      | 80   | 590 | 15               |
| 2 080       | 22    | 4    | 4      | 80   | 670 | 15               |
| 2 110       | 24    | 3,5  | 4      | 80   | 648 | 15               |
| 2 120       | 20    | 5    | 5      | 100  | 476 | 15               |
| 2 210       | 22    | 4,5  | 4,5    | 90   | 600 | 15               |
| 2 230       | 20    | 6    | 5      | 110  | 530 | 15               |
| 2 270       | 24    | 4    | 4      | 80   | 734 | 15               |
| 2 290       | 26    | 3,5  | 4      | 80   | 700 | 15               |
| 2 340       | 22    | 5    | 5      | 100  | 525 | 15               |
| 2 380       | 22    | 7    | 5,5    | 125  | 485 | 15               |
| 2 400       | 24    | 4,5  | 4,5    | 90   | 652 | 15               |
| 2 460       | 26    | 4    | 4      | 60   | 794 | 15               |
| 2 540       | 24    | 5    | 5      | 100  | 570 | 15               |
| 2 610       | 26    | 4,5  | 4,5    | 90   | 708 | 15               |
| 2 680       | 24    | 6    | 5      | 110  | 640 | 15               |
| 2 760       | 26    | 5    | 5      | 100  | 620 | 15               |
| 2 840       | 26    | 7    | 5,5    | 125  | 580 | 15               |
| 3 070       | 26    | 6    | 5      | 110  | 730 | 15               |

| q<br>в кг/м | Доски |      | Гвозди |      |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|--------|------|-----|------------------|
|             | b     | δ    | d      | l    | t   |                  |
|             | в см  | в см | в мм   | в мм | т   |                  |
| 860         | 18    | 2,5  | 3,5    | 60   | 378 | 20               |
| 960         | 20    | 2,5  | 3,5    | 60   | 420 | 20               |
| 960         | 18    | 3    | 4      | 80   | 354 | 15               |
| 1 050       | 22    | 2,5  | 3,5    | 60   | 462 | 20               |
| 1 060       | 18    | 3,5  | 4      | 80   | 406 | 15               |
| 1 070       | 20    | 3    | 4      | 80   | 394 | 15               |
| 1 140       | 24    | 2,5  | 3,5    | 60   | 504 | 20               |
| 1 180       | 22    | 3    | 4      | 80   | 432 | 15               |
| 1 180       | 20    | 3,5  | 4      | 80   | 450 | 15               |
| 1 180       | 18    | 4    | 4      | 80   | 486 | 15               |
| 1 240       | 26    | 2,5  | 3,5    | 60   | 546 | 20               |
| 1 280       | 24    | 3    | 4      | 90   | 472 | 15               |
| 1 290       | 22    | 3,5  | 4      | 80   | 496 | 15               |
| 1 300       | 18    | 4,5  | 4,5    | 90   | 444 | 15               |
| 1 320       | 20    | 4    | 4      | 80   | 540 | 15               |
| 1 390       | 26    | 3    | 4      | 80   | 512 | 15               |
| 1 410       | 24    | 3,5  | 4      | 80   | 542 | 15               |
| 1 440       | 18    | 5    | 5      | 100  | 404 | 15               |
| 1 450       | 22    | 4    | 4      | 80   | 594 | 15               |
| 1 450       | 20    | 4,5  | 4,5    | 90   | 494 | 15               |
| 1 470       | 18    | 6    | 5      | 110  | 428 | 15               |
| 1 530       | 26    | 3,5  | 4      | 80   | 586 | 15               |
| 1 580       | 24    | 4    | 4      | 80   | 646 | 15               |
| 1 590       | 22    | 4,5  | 4,5    | 90   | 542 | 15               |
| 1 590       | 18    | 7    | 5,5    | 125  | 382 | 15               |
| 1 600       | 20    | 5    | 5      | 100  | 450 | 15               |
| 1 710       | 26    | 4    | 4      | 80   | 700 | 15               |
| 1 740       | 24    | 4,5  | 4,5    | 90   | 590 | 15               |
| 1 760       | 22    | 5    | 5      | 100  | 494 | 15               |
| 1 820       | 20    | 6    | 5      | 110  | 528 | 15               |
| 1 890       | 26    | 4,5  | 4,5    | 90   | 642 | 15               |
| 1 920       | 24    | 5    | 5      | 100  | 538 | 15               |
| 1 980       | 22    | 7    | 5,5    | 125  | 490 | 15               |
| 2 070       | 26    | 5    | 5      | 100  | 584 | 15               |
| 2 190       | 24    | 6    | 5      | 110  | 640 | 15               |
| 2 370       | 26    | 7    | 5,5    | 125  | 580 | 15               |
| 2 400       | 26    | 6    | 5      | 110  | 712 | 15               |

$l = 4,0$  м;  $h = 24,0$  см

Таблица 2

$l = 4,5$  м;  $h = 26,0$  см

Таблица 4

| q<br>в кг/м | Доски |      | Гвозди |      |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|--------|------|-----|------------------|
|             | b     | δ    | d      | l    | t   |                  |
|             | в см  | в см | в мм   | в мм | т   |                  |
| 1 070       | 18    | 2,5  | 3,5    | 60   | 410 | 15               |
| 1 180       | 18    | 3    | 4      | 80   | 390 | 15               |
| 1 190       | 20    | 2,5  | 3,5    | 60   | 456 | 15               |
| 1 300       | 22    | 2,5  | 3,5    | 60   | 500 | 15               |
| 1 300       | 20    | 3    | 4      | 80   | 422 | 15               |
| 1 310       | 18    | 3,5  | 4      | 80   | 454 | 15               |
| 1 430       | 24    | 2,5  | 3,5    | 60   | 546 | 15               |
| 1 440       | 22    | 3    | 4      | 80   | 464 | 15               |
| 1 440       | 18    | 4    | 4      | 80   | 526 | 15               |
| 1 450       | 20    | 3,5  | 4      | 80   | 506 | 15               |
| 1 550       | 26    | 2,5  | 3,5    | 60   | 590 | 15               |
| 1 570       | 24    | 3    | 4      | 80   | 506 | 15               |
| 1 590       | 22    | 3,5  | 4      | 80   | 556 | 15               |
| 1 590       | 20    | 4    | 4      | 80   | 584 | 15               |
| 1 590       | 18    | 4,5  | 4,5    | 90   | 490 | 15               |
| 1 610       | 18    | 6    | 5      | 110  | 426 | 15               |
| 1 700       | 18    | 5    | 5      | 100  | 426 | 15               |
| 1 710       | 26    | 3    | 4      | 80   | 550 | 15               |
| 1 740       | 24    | 3,5  | 4      | 80   | 606 | 15               |
| 1 740       | 18    | 7    | 5,5    | 125  | 390 | 15               |
| 1 760       | 22    | 4    | 4      | 80   | 642 | 15               |
| 1 760       | 20    | 4,5  | 4,5    | 90   | 534 | 15               |
| 1 890       | 26    | 3,5  | 4      | 80   | 666 | 15               |
| 1 890       | 20    | 5    | 5      | 100  | 476 | 15               |
| 1 940       | 24    | 4    | 4      | 80   | 700 | 15               |
| 1 940       | 22    | 4,5  | 4,5    | 90   | 586 | 15               |
| 2 020       | 20    | 6    | 5      | 110  | 530 | 15               |
| 2 070       | 26    | 4    | 4      | 80   | 760 | 15               |
| 2 070       | 22    | 5    | 5      | 100  | 522 | 15               |
| 2 120       | 24    | 4,5  | 4,5    | 90   | 640 | 15               |
| 2 170       | 22    | 7    | 5,5    | 125  | 486 | 15               |
| 2 290       | 26    | 4,5  | 4,5    | 90   | 694 | 15               |
| 2 290       | 24    | 5    | 5      | 100  | 570 | 15               |
| 2 430       | 24    | 6    | 5      | 110  | 640 | 15               |
| 2 480       | 26    | 5    | 5      | 100  | 620 | 15               |

| q<br>в кг/м | Доски |      | Гвозди |      |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|--------|------|-----|------------------|
|             | b     | δ    | d      | l    | t   |                  |
|             | в см  | в см | в мм   | в мм | т   |                  |
| 900         | 18    | 2,5  | 3,5    | 60   | 390 | 15               |
| 1 000       | 18    | 3    | 4      | 80   | 362 | 15               |
| 1 010       | 20    | 2,5  | 3,5    | 60   | 434 | 15               |
| 1 100       | 18    | 3,5  | 4      | 80   | 430 | 15               |
| 1 110       | 22    | 2,5  | 3,5    | 60   | 476 | 15               |
| 1 110       | 20    | 3    | 4      | 80   | 402 | 15               |
| 1 210       | 24    | 2,5  | 3,5    | 60   | 520 | 15               |
| 1 210       | 18    | 4    | 4      | 80   | 500 | 15               |
| 1 220       | 22    | 3    | 4      | 80   | 442 | 15               |
| 1 220       | 20    | 3,5  | 4      | 80   | 478 | 15               |
| 1 310       | 26    | 2,5  | 3,5    | 60   | 564 | 15               |
| 1 310       | 18    | 4,5  | 4,5    | 90   | 450 | 15               |
| 1 330       | 24    | 3    | 4      | 80   | 482 | 15               |
| 1 340       | 22    | 3,5  | 4      | 80   | 526 | 15               |
| 1 340       | 20    | 4    | 4      | 80   | 556 | 15               |
| 1 430       | 18    | 5    | 5      | 100  | 410 | 15               |
| 1 440       | 26    | 3    | 4      | 80   | 524 | 15               |
| 1 460       | 20    | 4,5  | 4,5    | 90   | 500 | 15               |
| 1 470       | 24    | 3,5  | 4      | 80   | 574 | 15               |
| 1 480       | 22    | 4    | 4      | 80   | 610 | 15               |
| 1 590       | 26    | 3,5  | 4      | 80   | 620 | 15               |
| 1 590       | 18    | 6    | 5      | 110  | 480 | 15               |
| 1 590       | 20    | 5    | 5      | 100  | 456 | 15               |
| 1 600       | 24    | 4    | 4      | 80   | 666 | 15               |
| 1 610       | 22    | 4,5  | 4,5    | 90   | 550 | 15               |
| 1 690       | 18    | 7    | 5,5    | 125  | 440 | 15               |
| 1 740       | 26    | 4    | 4      | 80   | 720 | 15               |
| 1 750       | 24    | 4,5  | 4,5    | 90   | 600 | 15               |
| 1 760       | 22    | 5    | 5      | 100  | 500 | 15               |
| 1 870       | 20    | 6    | 5      | 110  | 565 | 15               |
| 1 900       | 26    | 4,5  | 4,5    | 90   | 650 | 15               |
| 1 910       | 24    | 5    | 5      | 100  | 546 | 15               |
| 1 970       | 22    | 6    | 5      | 110  | 600 | 15               |
| 2 050       | 26    | 5    | 5      | 100  | 590 | 15               |
| 2 240       | 24    | 6    | 5      | 110  | 680 | 15               |
| 2 430       | 26    | 6    | 5      | 110  | 734 | 15               |
| 2 520       | 26    | 7    | 5,5    | 125  | 650 | 15               |



$l = 4,5 \text{ м}; h = 24,0 \text{ см}$

Таблица 5

| q<br>в кг/м | Доски |      |      | Гвозди |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|------|--------|-----|------------------|
|             | b     | δ    | d    | l      | m   |                  |
|             | в см  | в см | в мм | в мм   | т   |                  |
| 740         | 18    | 2,5  | 3,5  | 60     | 364 | 20               |
| 820         | 20    | 2,5  | 3,5  | 60     | 404 | 20               |
| 820         | 18    | 3    | 4    | 60     | 338 | 20               |
| 900         | 22    | 2,5  | 3,5  | 60     | 444 | 20               |
| 900         | 18    | 3,5  | 4    | 80     | 400 | 20               |
| 920         | 20    | 3    | 4    | 80     | 376 | 20               |
| 990         | 24    | 2,5  | 3,5  | 60     | 486 | 20               |
| 1000        | 22    | 3    | 4    | 80     | 414 | 20               |
| 1000        | 18    | 4    | 4    | 60     | 466 | 15               |
| 1010        | 20    | 3,5  | 4    | 80     | 444 | 20               |
| 1070        | 26    | 2,5  | 3,5  | 60     | 528 | 20               |
| 1060        | 24    | 3    | 4    | 80     | 450 | 20               |
| 1100        | 18    | 4,5  | 4,5  | 90     | 420 | 15               |
| 1110        | 22    | 3,5  | 4    | 80     | 488 | 20               |
| 1110        | 20    | 4    | 4    | 80     | 518 | 15               |
| 1190        | 26    | 3    | 4    | 80     | 488 | 20               |
| 1210        | 24    | 3,5  | 4    | 80     | 532 | 20               |
| 1210        | 18    | 5    | 5    | 100    | 386 | 15               |
| 1220        | 22    | 4    | 4    | 80     | 570 | 15               |
| 1220        | 20    | 4,5  | 4,5  | 90     | 464 | 15               |
| 1310        | 26    | 3,5  | 4    | 80     | 576 | 20               |
| 1330        | 24    | 4    | 4    | 80     | 620 | 15               |
| 1340        | 22    | 4,5  | 4,5  | 90     | 514 | 15               |
| 1340        | 20    | 5    | 5    | 100    | 424 | 15               |
| 1430        | 18    | 6    | 5    | 110    | 480 | 15               |
| 1440        | 26    | 4    | 4    | 80     | 670 | 15               |
| 1470        | 24    | 4,5  | 4,5  | 90     | 560 | 15               |
| 1490        | 22    | 5    | 5    | 100    | 470 | 15               |
| 1550        | 18    | 7    | 5,5  | 125    | 440 | 15               |
| 1580        | 26    | 4,5  | 4,5  | 90     | 666 | 15               |
| 1590        | 20    | 6    | 5    | 110    | 550 | 15               |
| 1600        | 24    | 5    | 5    | 100    | 514 | 15               |
| 1740        | 26    | 5    | 5    | 100    | 558 | 15               |
| 1760        | 22    | 6    | 5    | 110    | 510 | 15               |
| 1910        | 24    | 6    | 5    | 110    | 640 | 15               |
| 1920        | 22    | 7    | 5,5  | 125    | 545 | 15               |
| 2070        | 26    | 6    | 5    | 110    | 690 | 15               |
| 2320        | 26    | 7    | 5,5  | 125    | 656 | 15               |

$l = 4,5 \text{ м}; h = 22,0 \text{ см}$

Таблица 6

| q<br>в кг/м | Доски |      |      | Гвозди |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|------|--------|-----|------------------|
|             | b     | δ    | d    | l      | m   |                  |
|             | в см  | в см | в мм | в мм   | т   |                  |
| 590         | 18    | 2,5  | 3,5  | 60     | 338 | 20               |
| 660         | 20    | 2,5  | 3,5  | 60     | 374 | 20               |
| 660         | 18    | 3    | 4    | 80     | 312 | 20               |
| 730         | 22    | 2,5  | 3,5  | 60     | 410 | 20               |
| 740         | 20    | 3    | 4    | 80     | 346 | 20               |
| 740         | 18    | 3,5  | 4    | 80     | 384 | 20               |
| 790         | 24    | 2,5  | 3,5  | 60     | 445 | 20               |
| 810         | 22    | 3    | 4    | 80     | 382 | 20               |
| 820         | 18    | 4    | 4    | 80     | 430 | 20               |
| 830         | 20    | 3,5  | 4    | 60     | 404 | 20               |
| 860         | 26    | 2,5  | 3,5  | 60     | 476 | 20               |
| 880         | 24    | 3    | 4    | 80     | 416 | 20               |
| 910         | 22    | 3,5  | 4    | 80     | 444 | 20               |
| 910         | 18    | 4,5  | 4,5  | 90     | 394 | 20               |
| 920         | 20    | 4    | 4    | 80     | 478 | 20               |
| 960         | 26    | 3    | 4    | 80     | 450 | 20               |
| 990         | 24    | 3,5  | 4    | 60     | 474 | 20               |
| 1000        | 22    | 4    | 4    | 80     | 526 | 20               |
| 1000        | 18    | 5    | 5    | 100    | 358 | 20               |
| 1010        | 20    | 4,5  | 4,5  | 90     | 478 | 20               |
| 1070        | 26    | 3,5  | 4    | 80     | 526 | 20               |
| 1090        | 24    | 4    | 4    | 80     | 574 | 20               |
| 1100        | 22    | 4,5  | 4,5  | 90     | 482 | 20               |
| 1100        | 18    | 5    | 5    | 100    | 398 | 20               |
| 1190        | 26    | 4    | 4    | 80     | 620 | 10               |
| 1210        | 24    | 4,5  | 4,5  | 90     | 526 | 10               |
| 1210        | 18    | 6    | 5    | 110    | 448 | 15               |
| 1220        | 22    | 5    | 5    | 100    | 478 | 10               |
| 1310        | 26    | 4,5  | 4,5  | 90     | 570 | 20               |
| 1330        | 24    | 5    | 5    | 100    | 478 | 20               |
| 1340        | 20    | 6    | 5    | 110    | 498 | 15               |
| 1400        | 18    | 7    | 5,5  | 125    | 440 | 15               |

Продолжение табл. 6

| q<br>в кг/м | Доски |      |      | Гвозди |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|------|--------|-----|------------------|
|             | b     | δ    | d    | l      | m   |                  |
|             | в см  | в см | в мм | в мм   | т   |                  |
| 1440        | 26    | 5    | 5    | 100    | 518 | 20               |
| 1480        | 22    | 6    | 5    | 110    | 548 | 15               |
| 1600        | 24    | 6    | 5    | 110    | 598 | 15               |
| 1740        | 26    | 6    | 5,5  | 110    | 646 | 15               |
| 1750        | 22    | 7    | 5,5  | 125    | 544 | 15               |
| 2070        | 26    | 7    | 5,5  | 125    | 646 | 15               |

$l = 5,0 \text{ м}; h = 26,0 \text{ см}$

Таблица 7

| q<br>в кг/м | Доски |      |      | Гвозди |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|------|--------|-----|------------------|
|             | b     | δ    | d    | l      | m   |                  |
|             | в см  | в см | в мм | в мм   | т   |                  |
| 650         | 18    | 2,5  | 3,5  | 60     | 352 | 20               |
| 720         | 18    | 3    | 4    | 80     | 326 | 20               |
| 730         | 20    | 2,5  | 3,5  | 60     | 392 | 20               |
| 800         | 18    | 3,5  | 4    | 80     | 388 | 20               |
| 800         | 22    | 2,5  | 3,5  | 60     | 430 | 20               |
| 800         | 20    | 4    | 4    | 80     | 352 | 20               |
| 870         | 24    | 2,5  | 3,5  | 60     | 470 | 20               |
| 870         | 18    | 4    | 4    | 80     | 450 | 20               |
| 880         | 22    | 3    | 4    | 80     | 398 | 20               |
| 880         | 20    | 3,5  | 4    | 80     | 430 | 20               |
| 950         | 26    | 2,5  | 3,5  | 60     | 508 | 20               |
| 950         | 8     | 4,5  | 4,5  | 90     | 410 | 20               |
| 970         | 24    | 3    | 4    | 80     | 434 | 20               |
| 970         | 22    | 3,5  | 4    | 80     | 474 | 20               |
| 970         | 20    | 4    | 4    | 80     | 500 | 20               |
| 1040        | 26    | 3    | 4    | 80     | 470 | 20               |
| 1040        | 18    | 5    | 5    | 100    | 370 | 15               |
| 1060        | 20    | 4,5  | 4,5  | 90     | 456 | 20               |
| 1070        | 24    | 3,5  | 4    | 80     | 518 | 20               |
| 1070        | 22    | 4    | 4    | 80     | 550 | 20               |
| 1150        | 20    | 5    | 5    | 100    | 410 | 15               |
| 1150        | 26    | 3,5  | 4    | 80     | 560 | 20               |
| 1170        | 24    | 4    | 4    | 80     | 600 | 20               |
| 1170        | 22    | 4,5  | 4,5  | 90     | 500 | 20               |
| 1210        | 18    | 5    | 5    | 100    | 416 | 15               |
| 1240        | 26    | 4    | 4    | 80     | 650 | 20               |
| 1270        | 24    | 4,5  | 4,5  | 90     | 546 | 20               |
| 170         | 22    | 5    | 5    | 100    | 452 | 15               |
| 1340        | 20    | 6    | 5    | 110    | 504 | 15               |
| 1380        | 16    | 4,5  | 4,5  | 90     | 590 | 20               |
| 1380        | 24    | 5    | 5    | 100    | 494 | 15               |
| 1430        | 18    | 7    | 5,5  | 125    | 460 | 15               |
| 1470        | 22    | 6    | 5    | 110    | 518 | 15               |
| 1500        | 26    | 5    | 5    | 100    | 554 | 15               |
| 1520        | 20    | 7    | 5,5  | 125    | 486 | 15               |
| 1610        | 24    | 6    | 5    | 110    | 618 | 15               |
| 1730        | 26    | 6    | 5    | 110    | 610 | 15               |
| 1750        | 22    | 7    | 5,5  | 125    | 510 | 15               |
| 1750        | 24    | 7    | 5,5  | 125    | 604 | 15               |
| 2060        | 16    | 7    | 5,5  | 125    | 660 | 15               |

$l = 5,0 \text{ м}; h = 24,0 \text{ см}$

Таблица 8

| q<br>в кг/м | Доски |      |      | Гвозди |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|------|--------|-----|------------------|
|             | b     | δ    | d    | l      | m   |                  |
|             | в см  | в см | в мм | в мм   | т   |                  |
| 530         | 18    | 2,5  | 3,5  | 60     | 226 | 20               |
| 59          | 20    | 2,5  | 3,5  | 60     | 312 | 20               |
| 390         | 18    | 3    | 4    | 80     | 314 | 20               |
| 640         | 22    | 2,5  | 3,5  | 60     | 398 | 20               |
| 650         | 18    | 3,5  | 4    | 80     | 362 | 20               |
| 660         | 20    | 3    | 4    | 80     | 318 | 20               |
| 710         | 24    | 2,5  | 3,5  | 60     | 434 | 20               |
| 720         | 18    | 4    | 4    | 80     | 410 | 20               |
| 720         | 22    | 3    | 4    | 80     | 372 | 20               |
| 730         | 20    | 3,5  | 4    | 80     | 402 | 20               |

Продолжение табл. 8

Продолжение табл. 9

| q<br>в кг/м | Доски |      | Гвозди |      |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|--------|------|-----|------------------|
|             | b     | d    | d      | l    | m   |                  |
|             | в см  | в см | в мм   | в мм | т   |                  |
| 770         | 26    | 2,5  | 3,5    | 80   | 470 | 20               |
| 790         | 24    | 3    | 4      | 80   | 406 | 20               |
| 790         | 18    | 4,5  | 4,5    | 90   | 380 | 20               |
| 800         | 22    | 3,5  | 4      | 80   | 442 | 20               |
| 800         | 20    | 4    | 4      | 80   | 448 | 20               |
| 860         | 26    | 3    | 4      | 80   | 440 | 20               |
| 870         | 24    | 3,5  | 4      | 80   | 482 | 20               |
| 870         | 18    | 5    | 5      | 100  | 248 | 20               |
| 880         | 22    | 4    | 4      | 80   | 512 | 20               |
| 880         | 20    | 4,5  | 4,5    | 90   | 422 | 20               |
| 950         | 26    | 3,5  | 4      | 80   | 522 | 20               |
| 970         | 24    | 4    | 4      | 80   | 560 | 20               |
| 970         | 22    | 4,5  | 4,5    | 90   | 464 | 20               |
| 970         | 20    | 5    | 5      | 100  | 386 | 20               |
| 1040        | 18    | 6    | 5      | 110  | 422 | 20               |
| 1040        | 26    | 4    | 4      | 80   | 606 | 20               |
| 1070        | 24    | 4,5  | 4,5    | 90   | 506 | 20               |
| 1070        | 22    | 5    | 5      | 100  | 426 | 20               |
| 1150        | 20    | 6    | 5      | 110  | 470 | 20               |
| 1150        | 26    | 4,5  | 4,5    | 90   | 550 | 20               |
| 1160        | 24    | 5    | 5      | 100  | 464 | 20               |
| 1210        | 18    | 7    | 5,5    | 125  | 426 | 15               |
| 1260        | 26    | 5    | 5      | 100  | 502 | 20               |
| 1270        | 22    | 6    | 5      | 110  | 516 | 20               |
| 1310        | 20    | 7    | 5,5    | 125  | 474 | 15               |
| 1380        | 24    | 6    | 5      | 110  | 564 | 20               |
| 1390        | 18    | 8    | 5,5    | 150  | 490 | 15               |
| 1470        | 22    | 7    | 5,5    | 125  | 520 | 15               |
| 1500        | 26    | 6    | 5      | 110  | 610 | 20               |
| 1610        | 24    | 7    | 5,5    | 125  | 568 | 15               |
| 1720        | 22    | 8    | 5,5    | 150  | 610 | 15               |
| 1750        | 26    | 7    | 5,5    | 125  | 616 | 15               |
| 2070        | 26    | 8    | 5,5    | 150  | 734 | 15               |

| q<br>в кг/м | Доски |      | Гвозди |      |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|--------|------|-----|------------------|
|             | b     | d    | d      | l    | m   |                  |
|             | в см  | в см | в мм   | в мм | т   |                  |
| 1240        | 20    | 8    | 5,5    | 150  | 484 | 20               |
| 1260        | 26    | 6    | 5      | 110  | 584 | 20               |
| 1270        | 22    | 7    | 5,5    | 125  | 492 | 20               |
| 1380        | 24    | 7    | 5,5    | 125  | 536 | 20               |
| 1470        | 22    | 8    | 5,5    | 150  | 574 | 20               |
| 1500        | 26    | 7    | 5,5    | 125  | 580 | 20               |
| 1550        | 24    | 8    | 5,5    | 150  | 608 | 20               |
| 1750        | 26    | 8    | 5,5    | 150  | 680 | 20               |

l = 5,5 м; h = 26,0 см

Таблица 10

| q<br>в кг/м | Доски |      | Гвозди |      |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|--------|------|-----|------------------|
|             | b     | d    | d      | l    | m   |                  |
|             | в см  | в см | в мм   | в мм | т   |                  |
| 480         | 18    | 2,5  | 3,5    | 60   | 320 | 20               |
| 530         | 18    | 3    | 4      | 80   | 296 | 20               |
| 540         | 20    | 2,5  | 3,5    | 80   | 356 | 20               |
| 590         | 18    | 3,5  | 4      | 80   | 354 | 20               |
| 590         | 22    | 2,5  | 3,5    | 60   | 390 | 20               |
| 590         | 20    | 3    | 4      | 80   | 328 | 20               |
| 640         | 24    | 1,5  | 3,5    | 60   | 426 | 20               |
| 650         | 22    | 1    | 4      | 80   | 362 | 20               |
| 650         | 18    | 1    | 4      | 80   | 410 | 20               |
| 650         | 20    | 3,5  | 4      | 80   | 394 | 20               |
| 700         | 26    | 2,5  | 3,5    | 60   | 462 | 20               |
| 710         | 18    | 4,5  | 4,5    | 80   | 372 | 20               |
| 710         | 24    | 3    | 4      | 80   | 394 | 20               |
| 720         | 22    | 3,5  | 4      | 80   | 432 | 20               |
| 720         | 20    | 4    | 4      | 80   | 456 | 20               |
| 770         | 26    | 3    | 4      | 80   | 428 | 20               |
| 770         | 18    | 5    | 5      | 100  | 338 | 20               |
| 790         | 24    | 3,5  | 4      | 80   | 472 | 20               |
| 790         | 22    | 4    | 4      | 80   | 500 | 20               |
| 790         | 20    | 4,5  | 4,5    | 80   | 412 | 20               |
| 850         | 26    | 3,5  | 4      | 80   | 510 | 20               |
| 860         | 20    | 5    | 5      | 100  | 376 | 20               |
| 870         | 24    | 4    | 4      | 80   | 546 | 20               |
| 870         | 22    | 4,5  | 4,5    | 90   | 454 | 20               |
| 910         | 18    | 6    | 5      | 110  | 416 | 20               |
| 930         | 26    | 4    | 4      | 80   | 590 | 20               |
| 940         | 24    | 4,5  | 4,5    | 90   | 496 | 20               |
| 950         | 22    | 5    | 5      | 100  | 412 | 20               |
| 1010        | 20    | 6    | 5      | 110  | 462 | 20               |
| 1020        | 26    | 4,5  | 4,5    | 90   | 536 | 20               |
| 1030        | 24    | 5    | 5      | 100  | 450 | 20               |
| 1070        | 18    | 7    | 5,5    | 125  | 420 | 20               |
| 1110        | 22    | 6    | 5      | 110  | 508 | 20               |
| 1120        | 26    | 5    | 5      | 100  | 488 | 20               |
| 1180        | 20    | 7    | 5,5    | 125  | 466 | 20               |
| 1220        | 24    | 6    | 5      | 110  | 554 | 20               |
| 1240        | 18    | 8    | 5,5    | 150  | 498 | 15               |
| 1310        | 22    | 7    | 5,5    | 125  | 512 | 20               |
| 1320        | 26    | 5    | 5      | 110  | 600 | 20               |
| 1350        | 20    | 8    | 5,5    | 150  | 536 | 15               |
| 1430        | 24    | 7    | 5,5    | 125  | 560 | 20               |
| 1510        | 22    | 8    | 5,5    | 150  | 600 | 15               |
| 1540        | 26    | 7    | 5,5    | 125  | 606 | 20               |
| 1660        | 24    | 8    | 5,5    | 150  | 656 | 15               |
| 1780        | 26    | 8    | 5,5    | 150  | 710 | 15               |
| 2010        | 26    | 9    | 5,5    | 150  | 800 | 15               |

l = 5,5 м; h = 24,0 см

Таблица 11

| q<br>в кг/м | Доски |      | Гвозди |      |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|--------|------|-----|------------------|
|             | b     | d    | d      | l    | m   |                  |
|             | в см  | в см | в мм   | в мм | т   |                  |
| 410         | 18    | 2,5  | 3,5    | 60   | 296 | 20               |
| 440         | 20    | 2,5  | 3,5    | 60   | 328 | 20               |
| 440         | 18    | 3    | 4      | 80   | 280 | 20               |
| 480         | 22    | 2,5  | 3,5    | 60   | 362 | 20               |

l = 6,0 м; h = 22,0 см

Таблица 9

| q<br>в кг/м | Доски |      | Гвозди |      |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-------|------|--------|------|-----|------------------|
|             | b     | d    | d      | l    | m   |                  |
|             | в см  | в см | в мм   | в мм | т   |                  |
| 420         | 18    | 2,5  | 3,5    | 60   | 300 | 20               |
| 470         | 20    | 2,5  | 3,5    | 60   | 334 | 20               |
| 470         | 18    | 3    | 4      | 80   | 282 | 20               |
| 520         | 22    | 2,5  | 3,5    | 60   | 366 | 20               |
| 530         | 20    | 3    | 4      | 80   | 314 | 20               |
| 530         | 18    | 3,5  | 4      | 80   | 328 | 20               |
| 580         | 24    | 2,5  | 3,5    | 60   | 400 | 20               |
| 590         | 22    | 3    | 4      | 80   | 344 | 20               |
| 590         | 20    | 3,5  | 4      | 80   | 364 | 20               |
| 590         | 18    | 4    | 4      | 80   | 388 | 20               |
| 610         | 26    | 2,5  | 3,5    | 60   | 432 | 20               |
| 680         | 24    | 3    | 4      | 80   | 376 | 20               |
| 680         | 22    | 3,5  | 4      | 80   | 400 | 20               |
| 680         | 18    | 4,5  | 4,5    | 90   | 356 | 20               |
| 680         | 20    | 4    | 4      | 80   | 480 | 20               |
| 680         | 24    | 3    | 4      | 80   | 406 | 20               |
| 710         | 24    | 3,5  | 4      | 80   | 438 | 20               |
| 720         | 22    | 4    | 4      | 80   | 474 | 20               |
| 720         | 18    | 5    | 5      | 100  | 524 | 20               |
| 730         | 20    | 4,5  | 4,5    | 90   | 396 | 20               |
| 770         | 26    | 3,5  | 4      | 80   | 474 | 20               |
| 790         | 24    | 4    | 4      | 80   | 516 | 20               |
| 800         | 22    | 4,5  | 4,5    | 90   | 436 | 20               |
| 800         | 20    | 5    | 5      | 100  | 360 | 20               |
| 840         | 20    | 4    | 4      | 80   | 560 | 20               |
| 870         | 18    | 6    | 5      | 110  | 404 | 20               |
| 870         | 24    | 4,5  | 4,5    | 90   | 474 | 20               |
| 880         | 22    | 5    | 5      | 100  | 396 | 20               |
| 880         | 26    | 4,5  | 4,5    | 90   | 514 | 20               |
| 870         | 24    | 5    | 5      | 100  | 432 | 20               |
| 870         | 20    | 6    | 5      | 110  | 450 | 20               |
| 1040        | 18    | 7    | 5,5    | 125  | 402 | 20               |
| 1040        | 26    | 5    | 5      | 100  | 468 | 20               |
| 1070        | 22    | 6    | 5      | 110  | 484 | 20               |
| 1150        | 20    | 7    | 5,5    | 125  | 446 | 20               |
| 1180        | 24    | 6    | 5      | 110  | 540 | 20               |
| 1210        | 18    | 8    | 5,5    | 150  | 470 | 20               |

Продолжение табл. 11

| q<br>в кг/м | Доски     |           | Гвозди    |           |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|------------------|
|             | b<br>в см | δ<br>в см | d<br>в мм | l<br>в мм | m   |                  |
| 480         | 18        | 3,5       | 4         | 50        | 330 | 20               |
| 490         | 20        | 3         | 4         | 50        | 312 | 20               |
| 520         | 24        | 2,5       | 3,5       | 60        | 394 | 20               |
| 590         | 18        | 4         | 4         | 80        | 334 | 20               |
| 530         | 22        | 3         | 4         | 80        | 342 | 20               |
| 540         | 20        | 3,5       | 4         | 80        | 366 | 20               |
| 570         | 26        | 2,5       | 3,5       | 60        | 426 | 20               |
| 590         | 24        | 3         | 4         | 80        | 372 | 20               |
| 590         | 18        | 4,5       | 4,5       | 90        | 348 | 20               |
| 600         | 20        | 4         | 4         | 80        | 426 | 20               |
| 600         | 22        | 3,5       | 4         | 80        | 404 | 20               |
| 640         | 26        | 3         | 4         | 80        | 404 | 20               |
| 640         | 24        | 3,5       | 4         | 80        | 440 | 20               |
| 650         | 22        | 4         | 4         | 80        | 470 | 20               |
| 650         | 20        | 4,5       | 4,5       | 90        | 376 | 20               |
| 650         | 18        | 5         | 5         | 100       | 316 | 20               |
| 700         | 26        | 3,5       | 4         | 80        | 476 | 20               |
| 710         | 24        | 4         | 4         | 80        | 512 | 20               |
| 720         | 22        | 4,5       | 4,5       | 90        | 426 | 20               |
| 720         | 20        | 5         | 5         | 100       | 350 | 20               |
| 770         | 18        | 6         | 5         | 110       | 394 | 20               |
| 770         | 26        | 4         | 4         | 80        | 554 | 20               |
| 790         | 24        | 4,5       | 4,5       | 90        | 464 | 20               |
| 790         | 22        | 5         | 5         | 100       | 346 | 20               |
| 850         | 26        | 4,5       | 4,5       | 90        | 502 | 20               |
| 860         | 20        | 6         | 5         | 110       | 438 | 20               |
| 860         | 24        | 5         | 5         | 100       | 420 | 20               |
| 910         | 18        | 7         | 5,5       | 125       | 392 | 20               |
| 930         | 26        | 5         | 5         | 100       | 456 | 20               |
| 950         | 22        | 6         | 5         | 110       | 480 | 20               |
| 1 010       | 20        | 7         | 5,5       | 125       | 436 | 20               |
| 1 030       | 24        | 6         | 5         | 110       | 524 | 20               |
| 1 070       | 18        | 8         | 5,5       | 150       | 460 | 20               |
| 1 110       | 22        | 7         | 5,5       | 125       | 480 | 20               |
| 1 120       | 26        | 6         | 5         | 110       | 570 | 20               |
| 1 190       | 20        | 8         | 5,5       | 150       | 510 | 20               |
| 1 220       | 24        | 7         | 5,5       | 125       | 522 | 20               |
| 1 240       | 18        | 9         | 5,5       | 150       | 534 | 20               |
| 1 250       | 20        | 9         | 5,5       | 150       | 542 | 20               |
| 1 310       | 22        | 8         | 5,5       | 150       | 562 | 20               |
| 1 330       | 26        | 7         | 5,5       | 125       | 566 | 20               |
| 1 430       | 24        | 8         | 5,5       | 150       | 612 | 20               |
| 1 510       | 22        | 9         | 5,5       | 150       | 650 | 20               |
| 1 540       | 26        | 8         | 5,5       | 150       | 664 | 20               |
| 1 570       | 24        | 9         | 5,5       | 150       | 676 | 20               |
| 1 790       | 26        | 9         | 5,5       | 150       | 770 | 20               |

l = 5,5 м; h = 22,0 см

Таблица 12

| q<br>в кг/м | Доски     |           | Гвозди    |           |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|------------------|
|             | b<br>в см | δ<br>в см | d<br>в мм | l<br>в мм | m   |                  |
| 410         | 24        | 2,5       | 3,5       | 60        | 364 | 25               |
| 430         | 22        | 3         | 4         | 80        | 258 | 25               |
| 440         | 20        | 3,5       | 4         | 80        | 274 | 25               |
| 440         | 18        | 4         | 4         | 80        | 356 | 20               |
| 450         | 26        | 2,5       | 3,5       | 60        | 394 | 20               |
| 470         | 24        | 3         | 4         | 80        | 282 | 25               |
| 470         | 22        | 3,5       | 4         | 80        | 302 | 25               |
| 480         | 18        | 4,5       | 4,5       | 90        | 326 | 20               |
| 490         | 20        | 4         | 4         | 80        | 396 | 20               |
| 510         | 26        | 3         | 4         | 80        | 306 | 25               |
| 520         | 24        | 3,5       | 4         | 80        | 328 | 25               |
| 530         | 18        | 5         | 5         | 100       | 296 | 20               |
| 530         | 22        | 4         | 4         | 80        | 436 | 20               |
| 540         | 20        | 4,5       | 4,5       | 90        | 362 | 20               |
| 570         | 26        | 3,5       | 4         | 80        | 356 | 25               |
| 590         | 24        | 4         | 4         | 80        | 474 | 20               |
| 590         | 22        | 4,5       | 4,5       | 90        | 398 | 20               |
| 600         | 20        | 5         | 5         | 100       | 328 | 20               |
| 640         | 26        | 5         | 5         | 100       | 514 | 20               |
| 640         | 24        | 4,5       | 4,5       | 90        | 434 | 20               |
| 680         | 22        | 5         | 5         | 100       | 362 | 20               |
| 650         | 18        | 6         | 5         | 110       | 368 | 20               |
| 700         | 26        | 4,5       | 4,5       | 90        | 470 | 20               |
| 710         | 24        | 5         | 5         | 100       | 394 | 20               |
| 720         | 22        | 6         | 5         | 110       | 408 | 20               |
| 770         | 18        | 7         | 5,5       | 125       | 366 | 20               |

Продолжение табл. 12

| q<br>в кг/м | Доски     |           | Гвозди    |           |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|------------------|
|             | b<br>в см | δ<br>в см | d<br>в мм | l<br>в мм | m   |                  |
| 770         | 24        | 5         | 5         | 100       | 428 | 20               |
| 790         | 22        | 6         | 5         | 110       | 450 | 20               |
| 860         | 20        | 7         | 5,5       | 125       | 406 | 20               |
| 860         | 24        | 6         | 5         | 110       | 490 | 20               |
| 910         | 18        | 8         | 5,5       | 150       | 434 | 20               |
| 930         | 26        | 6         | 5         | 110       | 532 | 20               |
| 950         | 22        | 7         | 5,5       | 125       | 448 | 20               |
| 1 000       | 20        | 8         | 5,5       | 150       | 482 | 20               |
| 1 030       | 24        | 7         | 5,5       | 125       | 488 | 20               |
| 1 070       | 18        | 9         | 5,5       | 150       | 506 | 20               |
| 1 120       | 26        | 7         | 5,5       | 125       | 528 | 20               |
| 1 120       | 22        | 8         | 5,5       | 150       | 530 | 20               |
| 1 130       | 20        | 9         | 5,5       | 150       | 532 | 20               |
| 1 220       | 24        | 8         | 5,5       | 150       | 580 | 20               |
| 1 320       | 22        | 9         | 5,5       | 150       | 618 | 20               |
| 1 320       | 26        | 8         | 5,5       | 150       | 628 | 20               |
| 1 410       | 24        | 9         | 5,5       | 150       | 664 | 20               |
| 1 540       | 26        | 9         | 5,5       | 150       | 728 | 20               |

l = 6,0 м; h = 26,0 см

Таблица 13

| q<br>в кг/м | Доски     |           | Гвозди    |           |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|------------------|
|             | b<br>в см | δ<br>в см | d<br>в мм | l<br>в мм | m   |                  |
| 400         | 20        | 2,5       | 3,5       | 60        | 326 | 20               |
| 400         | 18        | 3         | 4         | 80        | 272 | 20               |
| 450         | 22        | 2,5       | 3,5       | 60        | 358 | 20               |
| 450         | 20        | 3         | 4         | 80        | 302 | 20               |
| 450         | 18        | 3,5       | 4         | 80        | 324 | 20               |
| 490         | 24        | 2,5       | 3,5       | 60        | 392 | 20               |
| 490         | 18        | 2,5       | 3,5       | 60        | 376 | 20               |
| 500         | 22        | 3         | 4         | 80        | 332 | 20               |
| 500         | 20        | 3,5       | 4         | 80        | 360 | 20               |
| 530         | 26        | 2,5       | 3,5       | 60        | 424 | 20               |
| 540         | 24        | 3         | 4         | 80        | 362 | 20               |
| 540         | 18        | 4,5       | 4,5       | 90        | 342 | 20               |
| 540         | 20        | 4         | 4         | 80        | 418 | 20               |
| 550         | 22        | 3,5       | 4         | 80        | 396 | 20               |
| 550         | 26        | 3         | 4         | 80        | 392 | 20               |
| 590         | 18        | 5         | 5         | 100       | 319 | 20               |
| 600         | 24        | 3,5       | 4         | 80        | 432 | 20               |
| 600         | 22        | 4         | 4         | 80        | 460 | 20               |
| 600         | 20        | 4,5       | 4,5       | 90        | 380 | 20               |
| 650         | 26        | 3,5       | 4         | 80        | 468 | 20               |
| 650         | 24        | 4         | 4         | 80        | 500 | 20               |
| 650         | 20        | 5         | 5         | 100       | 344 | 20               |
| 660         | 22        | 4,5       | 4,5       | 90        | 418 | 20               |
| 700         | 18        | 6         | 5         | 110       | 324 | 20               |
| 710         | 24        | 4,5       | 4,5       | 90        | 456 | 20               |
| 720         | 22        | 5         | 5         | 100       | 378 | 20               |
| 770         | 20        | 6         | 5         | 110       | 360 | 20               |
| 780         | 26        | 4,5       | 4,5       | 90        | 494 | 20               |
| 780         | 24        | 5         | 5         | 100       | 412 | 20               |
| 810         | 18        | 7         | 5,5       | 125       | 322 | 20               |
| 850         | 26        | 5         | 5         | 100       | 448 | 20               |
| 850         | 22        | 6         | 5         | 110       | 396 | 20               |
| 910         | 20        | 7         | 5,5       | 125       | 358 | 20               |
| 930         | 24        | 6         | 5         | 110       | 432 | 20               |
| 950         | 18        | 8         | 5,5       | 150       | 450 | 20               |
| 1 000       | 26        | 6         | 5,5       | 110       | 468 | 20               |
| 1 000       | 22        | 7         | 5,5       | 125       | 394 | 20               |
| 1 050       | 20        | 8         | 5,5       | 150       | 500 | 20               |
| 1 090       | 24        | 7         | 5,5       | 125       | 430 | 20               |
| 1 090       | 18        | 9         | 5,5       | 150       | 520 | 20               |
| 1 160       | 22        | 8         | 5,5       | 150       | 550 | 20               |
| 1 170       | 26        | 7         | 5,5       | 125       | 466 | 20               |
| 1 210       | 20        | 9         | 5,5       | 150       | 576 | 20               |
| 1 220       | 18        | 10        | 5,5       | 150       | 590 | 20               |
| 1 270       | 24        | 8         | 5,5       | 150       | 600 | 20               |
| 1 340       | 22        | 9         | 5,5       | 150       | 636 | 20               |
| 1 370       | 26        | 8         | 5,5       | 150       | 650 | 20               |
| 1 450       | 24        | 9         | 5,5       | 150       | 684 | 20               |
| 1 520       | 22        | 10        | 5,5       | 150       | 725 | 20               |
| 1 580       | 26        | 9         | 5,5       | 150       | 750 | 20               |
| 1 810       | 26        | 10        | 5,5       | 150       | 860 | 20               |

Таблица 14

$l = 6,0$  м;  $h = 24,0$  см

| q<br>в кг/м | Доски     |           | Гвозди    |           |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|------------------|
|             | b<br>в см | δ<br>в см | d<br>в мм | l<br>в мм | m   |                  |
| 400         | 22        | 3         | 4         | 80        | 312 | 20               |
| 400         | 20        | 3,5       | 4         | 80        | 370 | 20               |
| 400         | 18        | 4         | 4         | 80        | 296 | 20               |
| 430         | 26        | 2,5       | 3,5       | 60        | 390 | 25               |
| 440         | 24        | 3         | 4         | 80        | 340 | 20               |
| 450         | 22        | 3,5       | 4         | 80        | 408 | 20               |
| 450         | 20        | 4         | 4         | 80        | 328 | 20               |
| 450         | 18        | 4,5       | 4,5       | 90        | 320 | 20               |
| 480         | 26        | 3         | 4         | 80        | 368 | 20               |
| 480         | 24        | 3,5       | 4         | 80        | 444 | 20               |
| 480         | 18        | 5         | 5         | 100       | 290 | 20               |
| 500         | 22        | 4         | 4         | 80        | 362 | 20               |
| 500         | 20        | 4,5       | 4,5       | 90        | 356 | 20               |
| 530         | 26        | 3,5       | 4         | 80        | 482 | 20               |
| 540         | 24        | 4         | 4         | 80        | 394 | 20               |
| 550         | 22        | 4,5       | 4,5       | 90        | 392 | 20               |
| 550         | 20        | 5         | 5         | 100       | 322 | 20               |
| 580         | 26        | 4         | 4         | 80        | 428 | 20               |
| 590         | 18        | 6         | 5         | 110       | 360 | 20               |
| 600         | 24        | 4,5       | 4,5       | 90        | 426 | 20               |
| 600         | 22        | 5         | 5         | 100       | 354 | 20               |
| 650         | 26        | 4,5       | 4,5       | 90        | 462 | 20               |
| 650         | 24        | 5         | 5         | 100       | 386 | 20               |
| 650         | 20        | 6         | 5         | 110       | 400 | 20               |
| 690         | 18        | 7         | 5,5       | 125       | 360 | 20               |
| 710         | 26        | 5         | 5         | 100       | 418 | 20               |
| 720         | 22        | 6         | 5         | 110       | 440 | 20               |
| 770         | 20        | 7         | 5,5       | 125       | 400 | 20               |
| 780         | 24        | 6         | 5         | 110       | 480 | 20               |
| 810         | 18        | 8         | 5,5       | 150       | 424 | 20               |
| 850         | 26        | 6         | 5         | 110       | 520 | 20               |
| 850         | 22        | 7         | 5,5       | 125       | 440 | 20               |
| 910         | 20        | 8         | 5,5       | 150       | 472 | 20               |
| 930         | 24        | 7         | 5,5       | 125       | 480 | 20               |
| 950         | 18        | 9         | 5,5       | 150       | 480 | 20               |
| 1 000       | 26        | 7         | 5,5       | 125       | 520 | 20               |
| 1 000       | 22        | 8         | 5,5       | 150       | 520 | 20               |
| 1 050       | 20        | 9         | 5,5       | 150       | 544 | 20               |
| 1 090       | 24        | 8         | 5,5       | 150       | 564 | 20               |
| 1 090       | 18        | 10        | 5,5       | 150       | 564 | 20               |
| 1 140       | 20        | 10        | 5,5       | 150       | 590 | 20               |
| 1 160       | 22        | 9         | 5,5       | 150       | 600 | 20               |
| 1 170       | 26        | 8         | 5,5       | 150       | 614 | 20               |
| 1 280       | 24        | 9         | 5,5       | 150       | 652 | 20               |
| 1 340       | 22        | 10        | 5,5       | 150       | 690 | 20               |
| 1 370       | 26        | 9         | 5,5       | 150       | 700 | 20               |
| 1 420       | 24        | 10        | 5,5       | 150       | 736 | 20               |
| 1 580       | 26        | 10        | 5,5       | 150       | 820 | 20               |

$l = 6,0$  м;  $h = 22,0$  см

Таблица 15

| q<br>в кг/м | Доски     |           | Гвозди    |           |     | f <sub>стр</sub> |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|------------------|
|             | b<br>в см | δ<br>в см | d<br>в мм | l<br>в мм | m   |                  |
| 400         | 24        | 3,5       | 4         | 80        | 362 | 25               |
| 400         | 22        | 4         | 4         | 80        | 370 | 25               |
| 400         | 20        | 4,5       | 4,5       | 90        | 330 | 25               |
| 400         | 18        | 5         | 5         | 100       | 270 | 25               |
| 430         | 26        | 3,5       | 4         | 80        | 392 | 25               |
| 440         | 24        | 4         | 4         | 80        | 404 | 25               |
| 450         | 22        | 4,5       | 4,5       | 90        | 364 | 25               |
| 450         | 20        | 5         | 5         | 110       | 300 | 25               |
| 480         | 26        | 4         | 4         | 80        | 436 | 25               |
| 490         | 24        | 4,5       | 4,5       | 90        | 396 | 25               |
| 490         | 18        | 6         | 5         | 110       | 316 | 25               |
| 500         | 22        | 5         | 5         | 100       | 330 | 25               |
| 530         | 26        | 4,5       | 4,5       | 90        | 430 | 25               |
| 540         | 24        | 5         | 5         | 100       | 360 | 25               |
| 550         | 20        | 6         | 5         | 110       | 374 | 25               |
| 580         | 26        | 5         | 5         | 100       | 390 | 25               |
| 590         | 18        | 7         | 5,5       | 125       | 336 | 20               |
| 600         | 22        | 6         | 5         | 110       | 410 | 25               |
| 650         | 24        | 6         | 5         | 110       | 448 | 25               |
| 650         | 20        | 7         | 5,5       | 125       | 374 | 20               |
| 690         | 18        | 8         | 5,5       | 150       | 400 | 20               |
| 710         | 26        | 6         | 5         | 150       | 484 | 25               |
| 720         | 22        | 7         | 5,5       | 125       | 410 | 20               |
| 770         | 20        | 8         | 5,5       | 150       | 444 | 20               |
| 780         | 24        | 7         | 5,5       | 125       | 448 | 20               |
| 810         | 18        | 9         | 5,5       | 150       | 462 | 20               |
| 850         | 26        | 7         | 5,5       | 125       | 484 | 20               |
| 850         | 22        | 8         | 5,5       | 150       | 488 | 20               |
| 910         | 20        | 9         | 5,5       | 150       | 514 | 20               |
| 940         | 24        | 8         | 5,5       | 150       | 532 | 20               |
| 940         | 18        | 10        | 5,5       | 150       | 530 | 20               |
| 1 000       | 26        | 8         | 5,5       | 150       | 578 | 20               |
| 1 000       | 22        | 9         | 5,5       | 150       | 586 | 20               |
| 1 050       | 20        | 10        | 5,5       | 150       | 590 | 20               |
| 1 090       | 24        | 9         | 5,5       | 150       | 616 | 20               |
| 1 090       | 22        | 10        | 5,5       | 150       | 648 | 20               |
| 1 170       | 26        | 9         | 5,5       | 150       | 668 | 20               |
| 1 280       | 24        | 10        | 5,5       | 150       | 706 | 20               |
| 1 370       | 26        | 10        | 5,5       | 150       | 766 | 20               |

в) Из полученных таким образом трех балок выбираем наиболее экономичную, каковой в нашем случае по произведенной калькуляции является балка с расчетной нагрузкой  $q = 1\,430$  кг/м при  $h = 26,0$  см.

г) По этой нагрузке ( $q = 1\,430$  кг/м) из таблицы для  $l = 5,0$  м и  $h = 26,0$  см получаем все необходимые данные для конструирования, а именно ширину балки  $b = 18,0$  см; толщину нашивок  $\delta = 7,0$  см, диаметр гвоздей  $d = 5,5$  мм и их длину

$l = 125$  мм; число гвоздей на всю балку  $m = 460$  и наконец конструктивный строительный подъем балки  $f_{стр} = 15$  мм.

При размещении гвоздей в крайней зоне балки (на длине  $1/4 l$ ) сверху и снизу должно быть распределено по  $0,1875 m$ , т. е.  $0,1875 \cdot 460 = 86$  шт., а в средней зоне гвозди должны быть поставлены втрое реже. Фактическое распределение гвоздей показано на фиг. 3.

Инж. В. С. ДЕРЕВЯГИН

## VIII-A. БАЛКИ НА ПЛАСТИНЧАТЫХ НАГЕЛЯХ СИСТЕМЫ ДЕРЕВЯГИНА

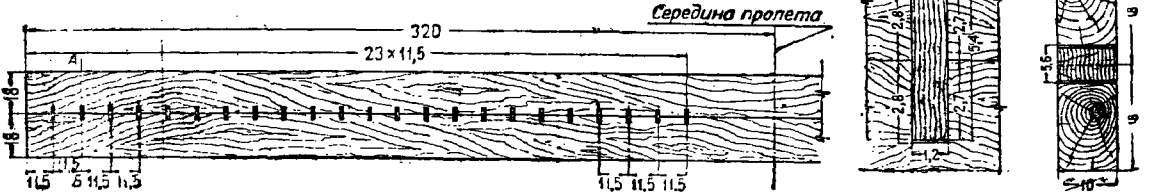
### 1. Общие сведения

Такие балки состояются из отдельных положенных друг на друга брусков, соединенных по шву пластинками из твердого дерева (фиг. 1) —

пластинчатыми нагелями. Балкам, состоящим обычно из двух или трех брусков, обязательно придается конструктивный строительный подъем, т. е. пластинчатые нагели ставятся после выгиба балок в специальном станке.

Пластинчатые нагели по форме напоминают шпунки, но по характеру работы являются нагелями, так как, заземляясь в гнезде, работают на изгиб и смятие и в отличие от шпуночных соединений не дают распора и потому не требуют болтов. Пластинчатые нагели являются податливыми связями. Податливость соединения, а

В деревянных конструкциях большое значение и большую трудность представляет точная пригонка связей, необходимая для их совместной



Балкам придается конструктивный подъем. Стрела подъема равна  $f$ . Пластинки дубовые сквозные

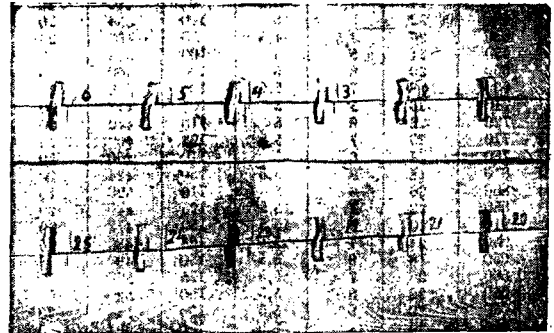
Фиг. 1. Балки из двух брусьев

также точность механического изготовления, при котором одновременно выбираются гнезда сразу в обоих сплачиваемых брусках (фиг. 2), обеспечивают совместную работу всех пластинчатых нагелей, расположенных по шву балки.

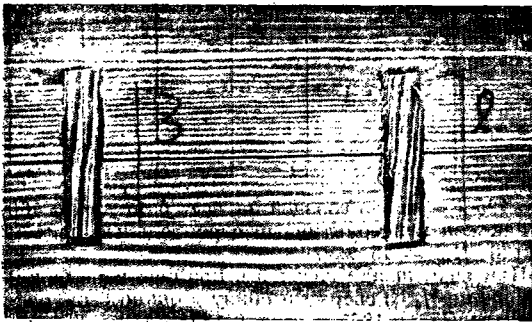
Испытания, произведенные автором в лаборатории ЦИИПС, как моделей, так и балок в натуральную величину приводили обычно к разрушению нижнего бруса от разрыва. В это время пластинчатые нагели обычно тоже находились в состоянии, близком к разрушению (фиг. 3). Отсутствие местных перенапряжений в любом из нагелей обеспечивало при испытаниях высокие запасы прочности — от 3,5 до 5,5.

Строительный подъем, создающий некоторое заземление пластинчатых нагелей в гнезде даже при отсутствии нагрузки, позволяет осуществлять балки совершенно без болтов, т. е. получать вполне безметалльную конструкцию.

работы. Применение электродолбежника позволяет сразу выбрать гнезда строго определенного



Фиг. 3. Пластинчатые нагели у конца балки в состоянии близком к разрушению



Фиг. 2. Пластинчатые нагели у конца балки при расчетном ее нагружении

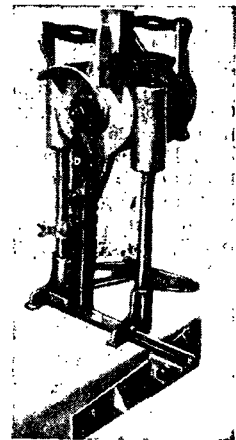
Балки этой системы требуют механизированного изготовления: гнезда для пластинчатых нагелей должны выбираться переносным электродолбежником, а определенная толщина нагелей должна быть обеспечена строгальным станком — «рейсмусовкой».

Стационарные цепнодолбежные станки давно уже получили распространение в деревообрабатывающем деле; переносные электродолбежные станки были введены за границу, но вначале не находили себе широкого применения; они могут быть рационально использованы для обработки тяжелых объектов (которые неудобно подносить к стационарным станкам) и особенно при сборке балок на пластинчатых нагелях <sup>1</sup>.

размера в обоих сплачиваемых брусках. Несложность и быстрота выборки гнезд позволяют ставить большое количество нагелей по длине балки, при этом возможный дефект в отдельном месте лишь незначительно влияет на все соединение.

Экономически применение балок на пластинчатых нагелях оправдывается лишь при большом объеме работ. Однако при организации производства балок на постоянном стройзаводе <sup>2</sup> для объектов, расположенных в радиусе действия данного стройзавода, можно применять такие балки и в небольшом числе.

Оптимальной областью применения балок на пластинчатых нагелях являются кровельные покрытия. Так например, балки были удачно применены в качестве прогонов по деревянным



Фиг. 4. Электродолбежник советского производства

<sup>1</sup> В настоящее время трест Союзстроймеханизация выпустил партию электродолбежников, советского изготовления (фиг. 4). Максимальный ход станка 15 см.

<sup>2</sup> По примеру стройзавода № 2 треста «Строиндустрия» в Москве.

колоннам при сетке колонн  $6 \times 6$  м и расстоянии между балками 6 м. Рекомендуется применение балок в качестве прогонов и в междуэтажных перекрытиях. Представляется возможным применение балок на нагелях в качестве подкрановых. Ввиду того что строганные балки без болтов и без выступающих частей имеют приятный внешний вид, следует проектировать их открытыми.

## 2. Конструктивные указания

Гнезда для нагелей могут быть сквозными (фиг. 1) и глухими (фиг. 5 и 6). Гнезда для глухих нагелей выбираются с двух сторон балки, располагаются в плане в шахматном порядке и доходят до половины ширины балки. Глухие гнезда применяются главным образом при ширине балок, превышающей максимальный ход электродолбежника (10—15 см).

Принято следующее обозначение размеров нагеля: толщиной  $\delta_n$  называют наименьший размер его поперек волокон, совпадающий с направлением волокон балки, шириной  $b_n$  — наибольший его размер по направлению ширины балки и длиной  $l_n$  — размер по направлению, перпендикулярному к плоскости сращивания брусьев.

Соотношение между длиной и толщиной нагеля было установлено экспериментально. Нагель хорошо заделан в гнезде и лучше всего работает при длине его:

$$l_n = 4,5\delta_n.$$

Увеличение длины нагеля свыше  $4,5\delta_n$  при данной его толщине не дает значительного приращения крепости нагеля, но увеличивает ослабление брусьев. Уменьшение длины нагеля ухудшает его заделку в гнезде и может быть допущено только в виде исключения при одновременном пропорциональном уменьшении допускаемого усилия. Во всяком случае не рекомендуется делать  $l_n < 4\delta_n$ .

Толщина  $\delta_n$  берется от 10 до 15 мм. Рекомендуется применять нагели толщиной  $\delta_n = 12$  мм. При длине  $l_n = 4,5$ :

$$\delta_n = 4,5 \cdot 12 = 54 \text{ мм.}$$

Для удобства забивания нагелей, а также для предотвращения образования щели по шву длину гнезда следует делать на 2 мм больше длины нагеля.

Минимальный шаг нагелей, установленный экспериментально, равен:

$$s_{\min} = 3,5h_b + \delta_n,$$

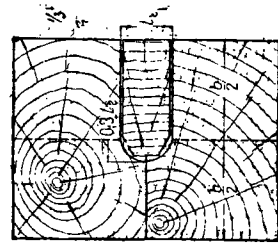
где  $h_b$  — глубина врезки в брус;

$\delta_n$  — толщина нагеля.

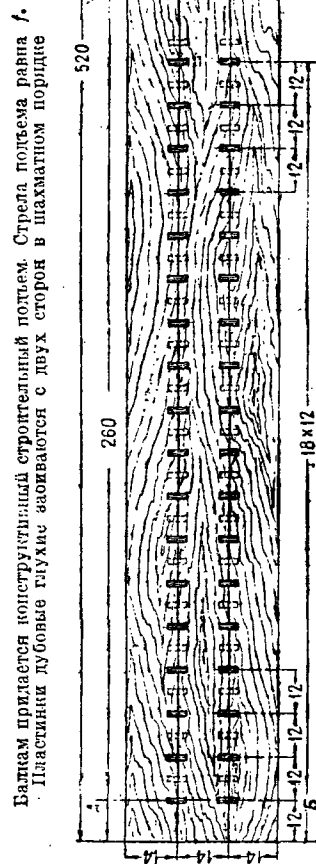
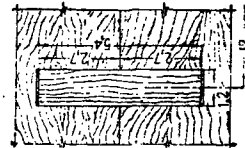
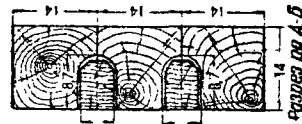
При  $l_n = 4,5\delta_n$  получим  $s_{\min} \approx 9\delta_n$ .

Назначать расстояние между пластинчатыми нагелями менее  $9\delta_n$  даже при условии соответствующего снижения нагрузки на нагель не разрешается ввиду резкого снижения запаса прочности (при уменьшении шага в сильной степени начинает сказываться отдиранье волокон). Высоту брусьев не рекомендуется брать более 26 см из опасения сильного растрескивания при усыхании. Максимально допускаемое ослабление бруса (высота врезки) не должно превышать  $\frac{1}{5}$  от его высоты.

Балки могут проектироваться как из двух, так и из трех брусьев. В тех случаях, когда проектировщик не стеснен габаритом, следует



Фиг. 4. Разрез через пластинчатый нагель



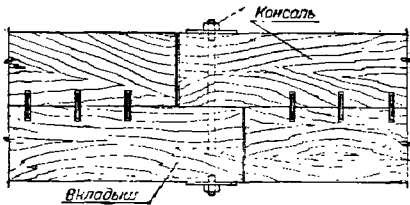
Фиг. 5. Балки из трех брусьев

Балкам применяется конструктивный строительный подъем. Стрела подъема равна  $l$ .  
Пластины лубовые глухие закладываются с двух сторон в шахматном порядке

проектировать балки из трех брусьев, т. е. большей высоты, для увеличения жесткости и снижения расхода древесины.

При устройстве конструктивного строительного подъема второго рода в балках из трех брусьев средний брус не работает на нормальную силу, а потому казалось бы возможным составление его из коротышей. Однако произведенные испытания показали, что это приводит к снижению запаса прочности. Поэтому как средний брус, так и крайние должны проектироваться неразрезными.

Опорные реакции должны быть приложены к нижнему брусу балки, а нагрузка — к верхнему. В случае расположения нагрузки и уровне нижнего бруса ее следует передавать при помощи хомутов непосредственно на верхний брус. Необходимо иметь в виду, что пластинчатые нагели



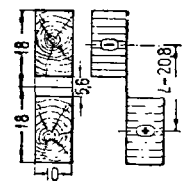
Фиг. 7. Конструкция стыка в консольно-балочной схеме

плотно соприкасаются в гнездах с брусьями, поэтому постановка стыжных болтов не может оправдать приложения нагрузки к нижнему брусу. При усушке брусьев болты выключаются из работы и нагрузка будет полностью воспринята нагелями. В результате могут последовать отдиранье волокон и разрушение балки.

В случае проектирования консольных балок опорное давление от вкладыша следует передавать при помощи болтов или хомутов на верхний брус консоли согласно фиг. 7.

### 3. Расчет

Согласно ТУ и Н при устройстве конструктивного строительного подъема второго рода можно принимать распределение нормальных напряжений в брусках балки по прямоугольной эпюре.



Фиг. 8. Расчетная эпюра напряжений в сечении балки

Если допустить для такой балки то же нормальное напряжение, что и для монолитной балки (с треугольной эпюрой), то для балки из двух брусьев расчетная нагрузка получится в полтора раза больше, чем для монолитной того же сечения (фиг. 8).

Однако прямоугольная эпюра имеет место только при расчетной нагрузке. При увеличении нагрузки прямоугольная эпюра искажается и при больших нагрузках, сопровождающихся увеличенными сдвигами, получает очертание, близкое к треугольному.

Поэтому разрушающая нагрузка для составной балки хотя бы и с конструктивным строительным подъемом получается не больше, чем для монолитной того же сечения. Таким образом конструктивный строительный подъем устраняет провисание балок, но увеличением запаса прочности по сравнению с балками без кон-

структивного строительного подъема не дает. Опыты, произведенные в ЦНИПС инженерами Ковальчуком М. Ф., Рабиновичем А. И., Деревягиным В. С., вполне подтвердили это. Для того чтобы получить для балок с конструктивным строительным подъемом второго рода расчетную нагрузку, одинаковую с монолитными балками такого же сечения, следует при учете конструктивного строительного подъема второго рода основные допускаемые нормальные напряжения понизить и принять равными:

для балок из двух брусьев  $[n] = 75-80 \text{ кг/см}^2$   
 » » » трех »  $[n] = 90$  »

При конструктивном строительном подъеме первого рода берется обычная треугольная эпюра нормальных напряжений при том же допускаемом напряжении, как и для монолитных балок. Расчет ведется с учетом ослабления сечения брусьев.

При проектировании балок необходимо вводить в расчет обычные поправочные коэффициенты к допускаемым напряжениям согласно нормам на влажность и сорт леса, класс сооружения и пр. Для пластинчатых нагелей снижения допускаемых на них усилий можно не производить.

Стрела конструктивного строительного подъема подсчитывается по ТУ и Н. Сдвиг при расчетном нагружении связей принимается равным  $\delta = 1,5 \text{ мм}$ .

Полная сдвигающая сила на любом участке балки равна разности нормальных сил на концах участка. В балке на двух опорах при симметричной нагрузке полная сдвигающая сила на половине длины балки равна максимальной расчетной нормальной силе в брусее:

$$T_0^{1/2} = N_{\max}$$

При конструктивном строительном подъеме первого рода полная сдвигающая сила на половине пролета (при симметричной нагрузке) равна:

$$\text{для балок из двух брусьев: } T_0^{1/2} = \frac{3}{2} \frac{M}{h};$$

$$\text{для балок из трех брусьев: } T_0^{1/2} = \frac{4}{3} \frac{M}{h},$$

где  $M$  — максимальный изгибающий момент в балке;

$h$  — полная высота балки.

Расчетное количество связей на полную сдвигающую силу  $T_0^{1/2}$  рассчитывается по концам балки на участках  $0,4 l$ . Связи в середине балки не только бесполезны, но даже вредны, ибо приводят к нежелательному ослаблению брусьев в этом месте, и потому на участке  $0,2l$  вовсе не ставятся. Обычно расчет производится по допускаемому нормальному напряжению, в случае же невозможности расстановки связей — по прочности шва.

По ТУ и Н (§ 130 и след.) нагельные сопряжения рассчитываются на изгиб и смятие. Ввиду того что длина пластинчатых нагелей задана постоянной, явилась возможность дать для расчета их одну (эмпирическую) формулу:

$$T_n = k \delta_n b_n, \quad (2)$$

где  $T_n$  — допускаемое усилие на один нагель в кг;

$k$  — эмпирический коэффициент в  $\text{кг/см}^2$ ;

$\delta_n$  — толщина нагеля в см;

$b_n$  — ширина нагеля в см.

Для дуба с влажностью до 15% принято  $k = 40$  при  $l_n = 4,5 \delta_n$ . По внешнему виду ф-лы (2) можно предположить, что нагель рассчитывается на срез — произведение  $\delta_n b_n$  дает площадь поле-

речного сечения нагеля, а  $k$  может быть истолковано как допустимое напряжение на срез. На самом деле, как указано выше, нагель рассчитывается на изгиб и смятие.

В случае возможности расстановки рекомендуется число пластинчатых нагелей назначать с запасом против расчетного. Стоимость нагеля измеряется копейками, и постановка добавочных нагелей практически не отражается на стоимости балок.

При высоких балках (из трех брусьев) следует производить проверку напряжений на смятие опор.

#### 4. Примеры расчета

##### 1) Балка из двух брусьев

Требуется рассчитать балку из двух брусьев сечением  $18 \times 10$  см (фиг. 1). Балке придается конструктивный строительный подъем второго рода. Длина балки  $l = 6,40$  м. Расчетный пролет  $l' = 6,20$  м. Коэффициент понижения нормальных напряжений на влажность и породу дерева принимаем равным 0,85.

Принимаем дубовые нагели размером  $1,2 \times 5,4 \times 10$  см. Высота выреза в бруссе:

$$h_g = \frac{5,4}{2} + 1 = 28 \text{ мм.}$$

Соответственно этому размеру должны быть взяты линейка и цепь в цепнодобежном станке.

Допускаемое нормальное напряжение:

$$[n] = 75 \cdot 0,85 = 64 \text{ кг/см}^2.$$

Для удобства первоначально производим расчет для балки шириной 1 см.

Рабочая площадь одного брусса:

$$F_{\text{ннтто}} = (18 - 2,8) \cdot 1 = 15,2 \text{ см}^2.$$

Допускаемая нормальная сила:

$$[N] = 64 \cdot 15,2 = 973 \text{ кг.}$$

Плечо внутренней пары (фиг. 8):

$$e = 18 + 2,8 = 20,8 \text{ см.}$$

Момент внутренней пары:

$[M] = Ne = 973 \cdot 20,8 = 20\ 200 \text{ кгсм} = 202 \text{ кгм}$  должен быть равен внешнему моменту:

$$Ne = \frac{q_1 l^2}{8},$$

откуда допускаемая нагрузка на 1 пог. м при ширине балки, равной 1 см:

$$q_1 = \frac{Ne \cdot 8}{l^2} = \frac{202 \cdot 8}{6,20^2} = 42,0 \text{ кг/м.}$$

Соответственно на ширину балки, равную 10 см, допускаемая нагрузка:

$$q_{10} = q_1 \cdot 10 = 42,0 \cdot 10 = 420 \text{ кг/м.}$$

Расчет нагелей.

Допускаемое усилие на один нагель при  $b = 1$  см:

$$T_1 = 40 \delta_n b = 40 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 48 \text{ кг.}$$

Полная сдвигающая сила на половине пролета балки, равная максимальной нормальной силе:

$$T_0 \cdot l^2 \cdot N_{\text{max}} = 973 \text{ кг.}$$

Число нагелей, необходимое для восприятия сдвигающей силы:

$$m = \frac{N_{\text{max}}}{T_1} = \frac{973}{48} = 20 \text{ шт.}$$

Шаг нагелей:

$$s_{\text{min}} = 9\delta_n = 9 \cdot 1,2 = 10,8 \text{ см.}$$

Назначаем шаг  $s = 11,5$  см.

Нагели расставляем на участках  $0,4 l$  от концов балки:

$$0,4 l = 0,4 \cdot 6,40 = 2,56 \text{ м.}$$

Число нагелей на длине 2,56 м:

$$m = \frac{2,56}{11,5} = 22,2 \text{ шт.}$$

Принимаем  $m = 23$  шт.

Определение стрелы подъема:

$\frac{e}{l} = \frac{20,8}{620} = 0,033$ ; из номограммы (стр. 152) при  $n = 75 \text{ кг/см}^2$  имеем:

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{220}; \quad f_{\text{упр}} = \frac{620}{220} = 2,8 \text{ см.}$$

Сдвиг по шву при расчетном загрузении нагелей принимается равным 1,5 мм.

Прогиб балки от сдвига в шве:

$$f_{\text{сдв}} = \frac{l \sum \delta}{3a} = \frac{620 \cdot 0,15}{3 \cdot 20,8} = 1,5 \text{ см.}$$

Стрела выгиба балки в станке:

$$f_{\text{стр}} = 2,8 + 1,5 = 4,3 \text{ см.}$$

Принимаем  $f_{\text{стр}} = 4,5$  см.

##### 2) Балка из трех брусьев

Требуется рассчитать балку из трех брусьев сечением  $14 \times 14$  см (фиг. 5).

Балке придается конструктивный строительный подъем второго рода. Длина балки  $l = 5,20$  м. Расчетный пролет  $l' = 5,00$  м.

Относительная высота балки:

$$\frac{h}{l} = \frac{42}{500} = \frac{1}{12}.$$

Коэффициент снижения нормальных напряжений на влажность и марку леса принимаем равным  $0,9 \cdot 0,8 = 0,72$ .

Допускаемое нормальное напряжение:

$$[n] = 90 \cdot 0,72 = 65 \text{ кг/см}^2.$$

Для скрепления брусьев применяем дубовые нагели с размерами  $\delta_n = 1,2$  см;  $l_n = 5,4$  см. Высота выреза в бруссе:

$$h_g = \frac{l_n}{2} + 1 \text{ мм} = \frac{5,4}{2} + 1 = 28 \text{ мм.}$$

Производим расчет для балки шириной 1 см. Рабочая площадь одного брусса:

$$F_{\text{ннтто}} = (14 - 2,8) \cdot 1 = 11,2 \text{ см}^2.$$

Допускаемая нормальная сила:

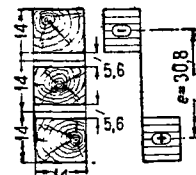
$$[N] = 65 \cdot 11,2 = 728 \text{ кг.}$$

Плечо внутренней пары (фиг. 9):

$$e = 2h + h_g = 2 \cdot 14 + 2,8 = 30,8 \text{ см}$$

Момент внутренней пары:

$[M] = Ne = 728 \cdot 30,8 = 22\ 400 \text{ кгсм} = 224 \text{ кгм.}$



Фиг. 9. Эпюра напряжений в ослабленном сечении



Внутренний момент равен внешнему:

$$N_e = \frac{q l^2}{8}.$$

Допустимая нагрузка на балку шириной  $b = 4$  см:

$$q_1 = \frac{N_e \cdot 8}{l^2} = \frac{224 \cdot 8}{25} = 72 \text{ кг/м.}$$

При  $b = 4$  см допустимая нагрузка:

$$q = q_1 \cdot 4 = 72 \cdot 4 = 1000 \text{ кг/м.}$$

Допускаемое напряжение на смятие поперек волокон принимаем:

$$[R]_{\perp} = 15 \cdot 0,72 = 11 \text{ кг/см}^2.$$

При длине опоры и 20 см напряжения смятия бруса:

$$n_{\perp} = \frac{R}{F} = \frac{q_1 l}{2F} = \frac{72 \cdot 5}{2 \cdot 20} = 9,0 \text{ кг/см}^2 < 11 \text{ кг/см}^2.$$

#### Расчет нагелей

При  $b = 1$  см  $T_1 = 48$  кг.

Полная сдвигающая сила на половине пролета балки:

$$T_0^{1/2} = N_{\max} = 728 \text{ кг.}$$

Необходимое число нагелей для восприятия сдвигающей силы:

$$m = \frac{N}{T_1} = \frac{728}{48} = 15 \text{ шт.}$$

Расставляем нагели на участках  $0,4l$  по концам балки:

$$0,4l = 0,4 \cdot 5,20 = 2,08 \text{ м.}$$

Шаг нагелей принимаем равным:

$$s = 10 \delta_n = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ см.}$$

Число нагелей на длине 2,08 м:

$$m = \frac{208}{12} = 17,3. \text{ Принимаем } m = 18 \text{ шт.}$$

Определение стрелы подъема:

$$f_{\text{стр}} = f_{\text{упр}} + f_{\text{сдв}};$$

$f_{\text{упр}}$  определяем по графику (стр. 152) для балок при напряжении  $90 \text{ кг/см}^2$ :

$$\frac{e}{l} = \frac{30,8}{500} = 0,062;$$

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{360}; \quad f = \frac{l}{360} = \frac{500}{360} = 1,39 \text{ см.}$$

$$f_{\text{сдв}} = \frac{\sum \delta \cdot l}{3e} = \frac{2 \cdot 0,15 \cdot 500}{3 \cdot 30,8} = 1,62 \text{ см.}$$

Стрела выгиба балок в станке:

$$f_{\text{стр}} = 1,39 + 1,62 = 3,01 \text{ см.}$$

Принимаем  $f_{\text{стр}} = 3,5$  см.

## 5. Инструкция по изготовлению балок

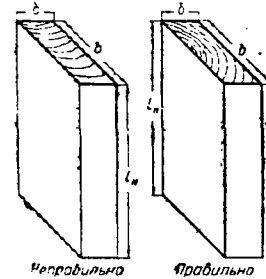
### 1) Заготовка пластинчатых нагелей

1. Пластинчатые нагели изготавливаются из дуба. Волокна в пластинчатых нагелях должны быть направлены перпендикулярно к шву сплачиваемых брусьев.

2. Для увязки толщины нагелей с толщиной гнезда нужно поступать следующим образом. Переносным электродолбежником с той режущей цепью, которая предназначена для сборки балок, выбирается несколько пробных гнезд в куске бруса, который затем поступает в столярный цех, ве-

дущий заготовку нагелей. В столярном цехе по этим гнездам устанавливают рейсмусовку на такую толщину нагелей, чтобы они заходили в гнезда с легким трением, не ломаясь при забивке (пластинчатые нагели забиваются полерек волокон). При этом согласуется с гнездом и длина нагеля, которая назначается на 2 мм меньше длины гнезда с тем, чтобы у торцов нагеля были вазоры по 1 мм (фиг. 1 и 5). Это улучшает забивку нагелей и частично предотвращает образование щели по шву между брусьями, возникающей вследствие их усушки.

3. Желательно, чтобы направление годичных слоев было параллельно ширине нагелей и перпендикулярно их толщине (фиг. 10). Такое рас-



Фиг. 10. Расположение годичных слоев в пластинчатых нагелях

положение годичных слоев уменьшает колебание толщины нагелей при изменении их влажности и кроме того, как показали опыты, повышает их крепость.

Ввиду того что нагели имеют небольшие размеры, выполнение указанного требования не представляет затруднений.

4. Нагели, как правило, делаются составными. Применение составных по ширине балки нагелей с точки зрения крепости балки вполне допустимо, а в производственном отношении хорошо тем, что позволяет использовать отходы, уменьшает коробление при сушке, увеличивает выход материала.

5. Древесина пластинчатых нагелей должна быть сухой с влажностью до 15%. В случае недостаточно сухой древесины брусьев нагели хотя и впитывают после забивки влагу из брусьев, но зато, разбухнув, плотно заполняют гнездо и тем самым увеличат свою мощность. Полезно поэтому древесину нагелей пересушивать. Необходимо иметь в виду, что при хранении готовых нагелей не в сухом месте они разбухают и при забивке ломаются. Сушка древесины для нагелей может быть организована даже в небольшой столярной сушилке.

6. Как заготовка пластинчатых нагелей, так и сборка балок должны производиться одной организацией. Не рекомендуется передавать заказ на заготовку пластинчатых нагелей на сторону, так как это создает организационные и технические затруднения.

### 2) Сборка балок

7. Балки собираются механизированным способом с помощью переносного электродолбежника (фиг. 4).

Изготовление балок кустарным способом (выборка гнезд долотом, пилой и т. п.) запрещается.

8. При сборке балок следует отбирать лучший лес на нижний пояс. Особенно следует избегать сучков на нижней кромке нижнего пояса. На это очень просто выполнимое требование к сожалению обращают очень мало внимания; однако один и тот же лес, но неправильно уложенный в дело, может в два раза снизить запас прочности.

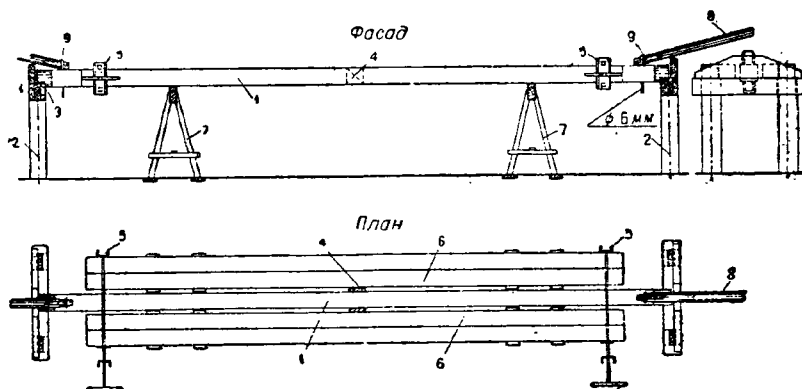
9. Балки удобно собирать в специальном станке системы автора (фиг. 11).

Станок состоит из бруса-средника 1, который опирается своими концами на подставки 2. Для того чтобы балки можно было переворачивать в станке, средник делается вращающимся в подставках. Для этого концы средника одеваются на цилиндр, а в подставках делается со-

стороны забиваются дополнительно, заполняя все гнездо. Для вынимания козел при переворачивании балок концы средника вместе с балками немного приподнимаются так, чтобы можно было вынуть козлы. Подъем производится рычагом 3, концы которого просовываются в скобы 9, забитые сверху и снизу у концов средника.

10. Соприкасающиеся брусья должны быть плотно пригнаны по шву. Зазоры между брусьями допускаются не более 1 мм.

11. При забивке нагелей возможно оставление в гнезде пустого пространства. На это должно быть обращено самое серьезное внимание. Закладывание пластинчатых нагелей должно быть поручено одному ответственному лицу.



Фиг. 11. Станок системы Деревягина для сборки балок

ответствующее углубление 3. В случае металлической цапфы на концы средника одеваются бугеля, а с торцов вставляются куски круглого железа  $\varnothing 25$  мм, выступающие из торцов. На подставки прививаются металлические подшипники (куски листового железа с углублением для цапф). Оба варианта дали на практике удовлетворительные результаты. Посредине с двух сторон средника, прививаются отрезки дерева—«бабышки» 4 толщиной, равной стреле конструктивного строительного леса для середины балки. На концы средника одеваются металлические хомуты 5 для выгиба балок. Металлический хомут представляет собой два железных прута (тяги), связанных по концам отрезками швеллера. У одного конца хомута имеется подвижная планка (упор), которая при помощи винта стягивает концы балок. На станке (фиг. 11) собираются сразу две балки 6. Они укладываются с двух сторон средника на съемные козлы 7 и выгибаются хомутами навстречу друг другу. Брусья балок, изгибаясь, дают плавную кривую предварительного выгиба.

При глухих гнездах переворачивание балок в станке необходимо, но даже и при сквозных гнездах в случае применения составных по ширине пластинчатых нагелей балки также рекомендуется переворачивать. При этом вначале пластинчатые нагели забиваются не на полную ширину балки, а потом с другой

12. Необходимо строго следить за недопущением неравномерной зарезки в обоих брусьях (сдвиг гнезда в сторону одного из брусьев). Имеющийся у электродолбежника боковой упор, как показала практика, не может обеспечить равномерного зарезания гнезда вследствие того, что брусья никогда не имеют одинаковых поперечных размеров по длине. Обычно плотники, опираясь на свой опыт, устанавливают станок каждый раз на-глаз. В результате все же получается неравномерная врезка. Для обеспечения правильной врезки рекомендуется на нижней планке электродолбежника по центру прикрепить стрелку, которую следует устанавливать каждый раз строго по шву балок. Допуск во врезке по длине гнезда не должен превосходить 2 мм.

13. Готовые балки следует хранить в закрытом от увлажнения месте, укладывая их на прокладках. Более подробные сведения см. журнал «Плотник и столяр» № 2 и 4, 1935 г.

*Инж. В. Г. ПИЩИФОВ*

## VIII-Б. ТАБЛИЦЫ БАЛОК НА ПЛАСТИНЧАТЫХ НАГЕЛЯХ СИСТЕМЫ ДЕРЕВЯГИНА <sup>1</sup>

### 1. Область применения таблиц

Нижеприводимые таблицы должны в первую очередь удовлетворить потребность в проектировании несущих прогонов для междуэтажных перекрытий промышленных зданий, где такие прогоны

<sup>1</sup> Разработаны в отделе технических исследований и стандартов Промстройпроцента инж. В. А. Замараевым под руководством инж. В. Г. Писчинова.

должны применяться в наибольшем объеме. Этим объясняются ограниченность пролетов (до 6 м) и жесткие требования в отношении прогиба (не более  $1/400$  l).

При использовании круглого окантованного леса пролет прогонов может быть увеличен до 9 м.

Для кровельных покрытий допустимый прогиб может быть увеличен до  $1/250 - 1/300$  l.

Однако и при этих ограничениях таблицы могут иметь достаточно обширное применение — особенно ввиду новизны самой конструкции и отсутствия навыков в ее проектировании у большинства проектировщиков.

## 2. Принципы составления таблиц

Таблицы составлены для пролетов  $l = 4,0; 4,5; 5,0; 5,5$  и  $6,0$  м.

За исходные данные приняты размеры брусьев, высота которых изменяется от 10 до 26 см, а ширина — от 10 до 20 см.

В таблицах даны два типа балок:

а) двухпоясные, составленные из двух брусьев по высоте;

б) трехпоясные — из трех брусьев по высоте.

Для трехпоясных балок принято три размера высоты среднего бруса: 22, 24 и 26 см.

Конструктивная высота двухпоясных балок изменяется от 30 до 52 см, а трехпоясных — от 42 до 60 см.

В таблицах приведены 1 013 составных сечений, полностью охватывающих все случаи возможных нагрузок для этого типа конструкции. При выборе сечений балки по таблицам учитываются данные эконоимической характеристики.

Балки рассчитаны под нагрузку, равномерно распределенную по пролету.

В таблицах даны полезные нагрузки в килограммах на 1 пог. м, полученные как разность между допустимой нагрузкой и собственным весом балок, исчислявшимся для древесины с объемным весом  $550 \text{ кг/м}^3$ .

Для различных пролетов допустимые полезные нагрузки изменяются в следующих пределах:

| $l$ | 4,0       | 4,5       | 5,0       | 5,5       | 6,0       |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $q$ | 610—2 750 | 450—2 410 | 400—2 130 | 410—1 920 | 410—1 760 |

## 3. Метод расчета балок

Расчет балок выполнен с учетом конструктивного строительного подъема второго рода.

Допустимые нагрузки определены для напряжений  $[n] = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 100 = 72 \text{ кг/см}^2$ . При прогибе балки  $\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{400}$ .

Коэффициент 0,8, понижающий основное допустимое напряжение, принят на основании опытных данных ЦНИПС, а коэффициент 0,9 введен на влажность древесины.

## 4. Вычисление допустимых нагрузок

а) Расчет по нормальным напряжениям

В простой балке, несущей равномерно распределенную нагрузку, момент внешних сил  $M_{\max} = \frac{q l^2}{8}$  уравновешивается моментом сопротивления внутренних сил:

$$M_w = [n] F_n e.$$

При полном использовании допустимого напряжения интенсивность нагрузки определяется выражением:

$$q_n = \frac{8 [n] F_n e}{l^2} = 576 \frac{F_n e}{l^2}. \quad (5)$$

## б) Расчет по жесткости

Задаваясь при прогибе по середине пролета:

$$f_{\max} = \frac{5q l^4}{384 E I} \quad (6)$$

отношением

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{400},$$

получим:

$$\frac{5q l^3}{384 E I} = \frac{1}{400}. \quad (7)$$

Отсюда нагрузка, допустимая из условий жесткости, найдется по формуле:

$$q_f = \frac{384 E I_n}{5 \cdot 400 l^3} = 19 200 \frac{I_n}{l^3}, \quad (8)$$

где  $I_n$  — момент инерции с учетом ослабления брусьев нагелями.

## в) Расчет по прочности нагельного шва

Сумма сил сдвига на половине пролета равна:

$$N = \frac{M_{\max}}{e} = \frac{q l^2}{8e}.$$

Нагели, равномерно размещенные на длине  $0,4 l$  от опоры, способны воспринять силу  $T^{1/2} = m T_n$ .

При полном использовании мощности нагельного шва интенсивность нагрузки определяется по формуле:

$$q_t = \frac{8m T_n e}{l^2}. \quad (9)$$

Табличное значение допустимой нагрузки соответствует наименьшему из значений, получаемых по ф-лам (5), (8) и (9).

## 5. Конструктивный строительный подъем

Необходимая величина подъема по середине пролета балок определялась в соответствии с § 199 ТУ и Н:

$$f_{\text{стр}} = f_0 + f_{\text{св}} = \frac{5q l^4}{384 (I_n - I_c) E} + \frac{l \sum \delta}{3e}, \quad (10)$$

где  $I_c$  — сумма моментов инерции брусьев, составляющих балку, относительно их собственных осей с учетом ослабления сечения нагелями;

$\delta$  — сдвиг в нагельном шве, принятый на основании опытных данных ЦНИПС равным 1,5 мм.

Получаемые по ф-ле (10) значения округлялись до 5 мм.

## 6. Данные о пластинчатых нагелях

Нагели запроектированы из твердых пород древесины (дуб, клен, бук, ясень) с влажностью до 15%.

Независимо от размеров брусьев, составляющих балку, толщина нагелей принята равной 10 мм и длина 45 мм.

Допускаемое усилие в килограммах на один пластинчатый нагель для указанных данностей определяется по формуле:

$$T_n = 40 b,$$

где  $b$  — ширина нагеля (соответственно ширине балки). Минимальный шаг нагелей, принятый в таблицах:

$$s_{\min} = 95 \text{ мм.}$$

Таблица 1  
Элементы балок пролетом  $l = 4,0$  м

Продолжение

| q<br>в кг/пог. м | Брусья         |                | Шаг нагелей<br>в см | f <sub>стр</sub><br>в см |
|------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------------|
|                  | высота<br>в см | ширина<br>в см |                     |                          |
| 610              | 15 + 15        | 10             | 9,5                 | 2,5                      |
| 640              | 16 + 16        | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 670              | 15 + 15        | 11             | 9,5                 | 2,5                      |
| 680              | 17 + 17        | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 710              | 16 + 16        | 11             | 9,5                 | 2                        |
| 715              | 18 + 18        | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 730              | 15 + 15        | 12             | 9,5                 | 2,5                      |
| 750              | 17 + 17        | 11             | 9,5                 | 2                        |
| 750              | 19 + 19        | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 770              | 16 + 16        | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 780              | 20 + 20        | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 790              | 15 + 15        | 13             | 9,5                 | 2,5                      |
| 790              | 18 + 18        | 11             | 9,5                 | 2                        |
| 820              | 21 + 21        | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 820              | 17 + 17        | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 830              | 19 + 19        | 11             | 9,5                 | 1,5                      |
| 840              | 16 + 16        | 13             | 9,5                 | 2                        |
| 850              | 15 + 15        | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 860              | 18 + 18        | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 860              | 22 + 22        | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 860              | 20 + 20        | 11             | 9,5                 | 1,5                      |
| 890              | 17 + 17        | 13             | 9,5                 | 2                        |
| 890              | 23 + 23        | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 900              | 16 + 16        | 14             | 9,5                 | 2                        |
| 900              | 21 + 21        | 11             | 9,5                 | 1,5                      |
| 900              | 19 + 19        | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 910              | 15 + 15        | 15             | 9,5                 | 2,5                      |
| 920              | 24 + 24        | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 920              | 10 + 22 + 10   | 10             | 12,5                | 2                        |
| 930              | 18 + 18        | 13             | 9,5                 | 2                        |
| 940              | 20 + 20        | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 940              | 22 + 22        | 11             | 9,5                 | 1,5                      |
| 950              | 17 + 17        | 14             | 9,5                 | 2                        |
| 960              | 16 + 16        | 15             | 9,5                 | 2                        |
| 960              | 25 + 25        | 10             | 9,5                 | 1                        |
| 970              | 15 + 15        | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 970              | 19 + 19        | 13             | 9,5                 | 1,5                      |
| 970              | 23 + 23        | 11             | 9,5                 | 1,5                      |
| 970              | 10 + 24 + 10   | 10             | 12,5                | 2                        |
| 980              | 21 + 21        | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 990              | 26 + 26        | 10             | 9,5                 | 1                        |
| 1 000            | 18 + 18        | 14             | 9,5                 | 2                        |
| 1 020            | 17 + 17        | 15             | 9,5                 | 2                        |
| 1 020            | 24 + 24        | 11             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 020            | 20 + 20        | 13             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 020            | 10 + 26 + 10   | 10             | 12,5                | 1,5                      |
| 1 030            | 15 + 15        | 17             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 030            | 16 + 16        | 16             | 9,5                 | 2                        |
| 1 030            | 22 + 22        | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 050            | 19 + 19        | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 060            | 21 + 21        | 13             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 060            | 25 + 25        | 11             | 9,5                 | 1                        |
| 1 060            | 23 + 23        | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 070            | 18 + 18        | 15             | 9,5                 | 2                        |
| 1 070            | 11 + 22 + 11   | 10             | 11,0                | 2                        |
| 1 090            | 15 + 15        | 18             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 090            | 17 + 17        | 16             | 9,5                 | 2                        |
| 1 090            | 16 + 16        | 17             | 9,5                 | 2                        |
| 1 090            | 26 + 26        | 11             | 9,5                 | 1                        |
| 1 100            | 10 + 22 + 10   | 12             | 12,5                | 2                        |
| 1 100            | 20 + 20        | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 110            | 22 + 22        | 13             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 110            | 24 + 24        | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 120            | 19 + 19        | 15             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 140            | 21 + 21        | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 140            | 18 + 18        | 16             | 9,5                 | 2                        |
| 1 140            | 10 + 24 + 10   | 10             | 11,0                | 1,5                      |
| 1 150            | 23 + 23        | 13             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 160            | 15 + 15        | 19             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 160            | 16 + 16        | 18             | 9,5                 | 2                        |
| 1 160            | 10 + 24 + 10   | 12             | 12,5                | 2                        |
| 1 160            | 17 + 17        | 17             | 9,5                 | 2                        |
| 1 160            | 25 + 25        | 12             | 9,5                 | 1                        |
| 1 180            | 20 + 20        | 15             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 180            | 26 + 26        | 12             | 9,5                 | 1                        |
| 1 190            | 11 + 26 + 11   | 10             | 11,0                | 1,5                      |
| 1 200            | 19 + 19        | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 200            | 24 + 24        | 13             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 200            | 22 + 22        | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 220            | 15 + 15        | 20             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 220            | 16 + 16        | 19             | 9,5                 | 2                        |
| 1 220            | 17 + 17        | 17             | 9,5                 | 2                        |
| 1 220            | 12 + 22 + 12   | 10             | 10,0                | 2                        |
| 1 230            | 17 + 17        | 18             | 9,5                 | 2                        |
| 1 230            | 21 + 21        | 15             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 230            | 10 + 24 + 10   | 12             | 12,5                | 1,5                      |
| 1 240            | 23 + 23        | 14             | 9,5                 | 1,5                      |

| q<br>в кг/пог. м | Брусья         |                | Шаг нагелей<br>в см | f <sub>стр</sub><br>в см |
|------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------------|
|                  | высота<br>в см | ширина<br>в см |                     |                          |
| 1 250            | 25 + 25        | 13             | 9,5                 | 1                        |
| 1 260            | 20 + 20        | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 280            | 18 + 18        | 18             | 9,5                 | 2                        |
| 1 280            | 19 + 19        | 17             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 280            | 22 + 22        | 15             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 290            | 24 + 24        | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 290            | 26 + 26        | 13             | 9,5                 | 1                        |
| 1 290            | 11 + 22 + 11   | 12             | 11,0                | 2                        |
| 1 290            | 10 + 22 + 10   | 14             | 12,5                | 2                        |
| 1 290            | 12 + 24 + 12   | 10             | 10,0                | 1,5                      |
| 1 290            | 16 + 16        | 20             | 9,5                 | 2                        |
| 1 300            | 17 + 17        | 19             | 9,5                 | 2                        |
| 1 300            | 21 + 21        | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 320            | 13 + 22 + 13   | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 1 320            | 23 + 23        | 15             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 340            | 20 + 20        | 17             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 340            | 19 + 19        | 18             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 360            | 17 + 17        | 20             | 9,5                 | 2                        |
| 1 360            | 10 + 24 + 10   | 14             | 12,5                | 2                        |
| 1 360            | 18 + 18        | 19             | 9,5                 | 2                        |
| 1 370            | 11 + 24 + 11   | 12             | 11                  | 2                        |
| 1 370            | 12 + 26 + 12   | 10             | 10                  | 1,5                      |
| 1 370            | 22 + 22        | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 380            | 24 + 24        | 15             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 390            | 21 + 21        | 17             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 390            | 15 + 22 + 15   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 390            | 13 + 24 + 13   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 410            | 20 + 20        | 18             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 410            | 23 + 23        | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 420            | 19 + 19        | 19             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 430            | 18 + 18        | 20             | 9,5                 | 2                        |
| 1 430            | 11 + 26 + 11   | 12             | 11                  | 1,5                      |
| 1 430            | 16 + 22 + 16   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 430            | 14 + 24 + 14   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 460            | 22 + 22        | 17             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 460            | 15 + 24 + 15   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 460            | 17 + 22 + 17   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 460            | 13 + 26 + 13   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 470            | 21 + 21        | 18             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 470            | 10 + 22 + 10   | 16             | 12,5                | 2                        |
| 1 470            | 12 + 22 + 12   | 12             | 10                  | 2                        |
| 1 480            | 24 + 24        | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 490            | 20 + 20        | 19             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 490            | 16 + 24 + 16   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 490            | 18 + 22 + 18   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 500            | 19 + 19        | 20             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 500            | 14 + 26 + 14   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 510            | 23 + 23        | 17             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 510            | 11 + 22 + 11   | 14             | 11                  | 2                        |
| 1 530            | 15 + 26 + 15   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 530            | 17 + 24 + 17   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 530            | 19 + 22 + 19   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 540            | 22 + 22        | 18             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 550            | 12 + 24 + 12   | 12             | 10                  | 1,5                      |
| 1 550            | 10 + 24 + 10   | 16             | 12,5                | 2                        |
| 1 560            | 21 + 21        | 19             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 570            | 20 + 20        | 20             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 570            | 18 + 24 + 18   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 570            | 16 + 26 + 16   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 590            | 13 + 22 + 13   | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 1 600            | 11 + 24 + 11   | 14             | 11                  | 2                        |
| 1 610            | 17 + 26 + 17   | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 630            | 21 + 21        | 20             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 630            | 22 + 22        | 19             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 630            | 14 + 22 + 14   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 650            | 12 + 26 + 12   | 12             | 10                  | 1,5                      |
| 1 660            | 10 + 22 + 10   | 18             | 12,5                | 2                        |
| 1 670            | 13 + 24 + 13   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 670            | 15 + 22 + 15   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 710            | 16 + 22 + 16   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 720            | 12 + 22 + 12   | 14             | 10                  | 2                        |
| 1 720            | 11 + 22 + 11   | 16             | 11                  | 2                        |
| 1 720            | 14 + 24 + 14   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 750            | 15 + 24 + 15   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 750            | 17 + 22 + 17   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 760            | 13 + 26 + 13   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 780            | 16 + 24 + 16   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 780            | 18 + 22 + 18   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 800            | 14 + 26 + 14   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 810            | 12 + 24 + 12   | 14             | 11                  | 1,5                      |
| 1 830            | 17 + 24 + 17   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 830            | 19 + 22 + 19   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 830            | 15 + 26 + 15   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 830            | 11 + 24 + 11   | 16             | 11                  | 2                        |
| 1 850            | 13 + 22 + 13   | 14             | 9,5                 | 2                        |
| 1 880            | 18 + 24 + 18   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 880            | 16 + 26 + 16   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |

Продолжение

Продолжение

| q<br>в кг/пог. м | Брусья         |                | Шаг нагелей<br>в см | f <sub>стр</sub><br>в см |
|------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------------|
|                  | высота<br>в см | ширина<br>в см |                     |                          |
| 1 890            | 14 + 22 + 14   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 930            | 17 + 26 + 17   | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 940            | 11 + 22 + 11   | 18             | 11                  | 2                        |
| 1 950            | 13 + 24 + 13   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 960            | 12 + 22 + 12   | 16             | 10                  | 2                        |
| 1 960            | 15 + 22 + 15   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 000            | 14 + 24 + 14   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 000            | 16 + 22 + 16   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 040            | 17 + 22 + 17   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 050            | 15 + 24 + 15   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 070            | 12 + 24 + 12   | 16             | 10                  | 1,5                      |
| 2 090            | 18 + 22 + 18   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 090            | 16 + 24 + 16   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 120            | 13 + 22 + 13   | 16             | 9,5                 | 2                        |
| 2 130            | 19 + 22 + 19   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 130            | 17 + 24 + 17   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 170            | 14 + 22 + 14   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 190            | 18 + 24 + 18   | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 210            | 12 + 22 + 12   | 18             | 10                  | 2                        |
| 2 230            | 15 + 22 + 15   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 230            | 13 + 24 + 13   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 230            | 16 + 22 + 16   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 300            | 14 + 24 + 14   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 330            | 17 + 22 + 17   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 340            | 18 + 24 + 15   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 380            | 13 + 22 + 13   | 18             | 9,5                 | 2                        |
| 2 380            | 18 + 22 + 18   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 380            | 16 + 24 + 16   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 430            | 14 + 22 + 14   | 18             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 450            | 19 + 22 + 19   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 450            | 17 + 24 + 17   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 510            | 15 + 22 + 15   | 18             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 510            | 18 + 24 + 18   | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 580            | 16 + 22 + 16   | 18             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 620            | 17 + 22 + 17   | 18             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 680            | 18 + 22 + 18   | 18             | 9,5                 | 1,5                      |
| 2 750            | 19 + 22 + 19   | 18             | 9,5                 | 1,5                      |

Таблица 2

Элементы блоков пролетом l = 4,5 м

| q<br>в кг/пог. м | Брусья         |                | Шаг нагелей<br>в см | f <sub>стр</sub><br>в см |
|------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------------|
|                  | высота<br>в см | ширина<br>в см |                     |                          |
| 460              | 15 + 15        | 10             | 11                  | 2,5                      |
| 500              | 15 + 15        | 11             | 11                  | 2,5                      |
| 550              | 15 + 15        | 12             | 11                  | 2,5                      |
| 580              | 16 + 16        | 10             | 9,5                 | 2,5                      |
| 590              | 15 + 15        | 13             | 11                  | 2,5                      |
| 600              | 17 + 17        | 10             | 9,5                 | 2,5                      |
| 610              | 16 + 16        | 11             | 9,5                 | 2,5                      |
| 630              | 18 + 18        | 10             | 9,5                 | 2,5                      |
| 640              | 15 + 15        | 14             | 11                  | 2,5                      |
| 660              | 17 + 17        | 11             | 9,5                 | 2,5                      |
| 660              | 19 + 19        | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 670              | 16 + 16        | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 680              | 15 + 15        | 15             | 11                  | 2,5                      |
| 680              | 20 + 20        | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 690              | 18 + 18        | 11             | 9,5                 | 2,5                      |
| 720              | 17 + 17        | 12             | 9,5                 | 2,5                      |
| 720              | 21 + 21        | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 720              | 10 + 22 + 10   | 10             | 14                  | 2                        |
| 730              | 15 + 15        | 18             | 11                  | 2,5                      |
| 730              | 16 + 16        | 13             | 9,5                 | 2,5                      |
| 730              | 19 + 19        | 11             | 9,5                 | 2                        |
| 750              | 20 + 20        | 11             | 9,5                 | 2                        |
| 760              | 22 + 22        | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 780              | 18 + 18        | 12             | 9,5                 | 2,5                      |
| 780              | 10 + 24 + 10   | 10             | 14                  | 2                        |
| 780              | 15 + 15        | 17             | 11                  | 2,5                      |
| 780              | 18 + 16        | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 780              | 17 + 17        | 13             | 9,5                 | 2,5                      |
| 780              | 23 + 23        | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 790              | 19 + 19        | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 790              | 21 + 21        | 11             | 9,5                 | 2                        |
| 810              | 10 + 26 + 10   | 10             | 14                  | 2                        |
| 810              | 24 + 24        | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 810              | 14 + 14        | 18             | 9,5                 | 2,5                      |
| 810              | 18 + 18        | 18             | 11                  | 2,5                      |
| 820              | 20 + 20        | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 820              | 22 + 22        | 11             | 9,5                 | 1,5                      |
| 830              | 18 + 18        | 18             | 9,5                 | 2,5                      |
| 850              | 17 + 17        | 16             | 9,5                 | 2,5                      |

| q<br>в кг/пог. м | Брусья         |                | Шаг нагелей<br>в см | f <sub>стр</sub><br>в см |
|------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------------|
|                  | высота<br>в см | ширина<br>в см |                     |                          |
| 840              | 25 + 25        | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 840              | 11 + 22 + 11   | 10             | 12                  | 2,5                      |
| 850              | 19 + 19        | 13             | 9,5                 | 2                        |
| 860              | 21 + 21        | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 860              | 23 + 23        | 11             | 9,5                 | 1,5                      |
| 860              | 10 + 22 + 10   | 12             | 14                  | 2,5                      |
| 870              | 15 + 15        | 19             | 11                  | 2,5                      |
| 870              | 26 + 26        | 10             | 9,5                 | 1,5                      |
| 880              | 18 + 18        | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 890              | 20 + 20        | 13             | 9,5                 | 2                        |
| 890              | 17 + 17        | 15             | 9,5                 | 2,5                      |
| 890              | 24 + 24        | 11             | 9,5                 | 1,5                      |
| 890              | 16 + 16        | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 900              | 22 + 22        | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 900              | 11 + 24 + 11   | 10             | 12                  | 2                        |
| 910              | 10 + 24 + 10   | 12             | 14                  | 2                        |
| 910              | 15 + 15        | 20             | 11                  | 2,5                      |
| 920              | 19 + 19        | 14             | 9,5                 | 2                        |
| 920              | 25 + 25        | 11             | 9,5                 | 1,5                      |
| 930              | 21 + 21        | 13             | 9,5                 | 2                        |
| 940              | 11 + 26 + 11   | 10             | 12                  | 2                        |
| 940              | 23 + 23        | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 940              | 18 + 18        | 15             | 9,5                 | 2,5                      |
| 950              | 16 + 16        | 17             | 9,5                 | 2,5                      |
| 950              | 17 + 17        | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 960              | 20 + 20        | 14             | 9,5                 | 2                        |
| 960              | 26 + 26        | 11             | 9,5                 | 1,5                      |
| 960              | 12 + 22 + 12   | 10             | 11                  | 2                        |
| 960              | 10 + 26 + 10   | 12             | 14                  | 2                        |
| 970              | 22 + 22        | 13             | 9,5                 | 1,5                      |
| 970              | 24 + 24        | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 980              | 19 + 19        | 15             | 9,5                 | 2                        |
| 1 000            | 11 + 22 + 11   | 12             | 12                  | 2,5                      |
| 1 000            | 16 + 16        | 18             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 000            | 21 + 21        | 14             | 9,5                 | 2                        |
| 1 010            | 18 + 18        | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 010            | 25 + 25        | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 010            | 23 + 23        | 13             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 010            | 10 + 22 + 10   | 14             | 14                  | 2,5                      |
| 1 020            | 17 + 17        | 17             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 020            | 12 + 24 + 12   | 10             | 11                  | 2                        |
| 1 030            | 20 + 20        | 15             | 9,5                 | 2                        |
| 1 050            | 22 + 22        | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 050            | 26 + 26        | 12             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 060            | 16 + 16        | 19             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 060            | 19 + 19        | 16             | 9,5                 | 2                        |
| 1 060            | 24 + 24        | 13             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 060            | 10 + 24 + 10   | 14             | 14                  | 2,5                      |
| 1 070            | 18 + 18        | 17             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 070            | 11 + 24 + 11   | 12             | 12                  | 2                        |
| 1 070            | 12 + 26 + 12   | 10             | 11                  | 2                        |
| 1 080            | 17 + 17        | 18             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 080            | 21 + 21        | 15             | 9,5                 | 2                        |
| 1 090            | 25 + 25        | 13             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 090            | 13 + 22 + 13   | 10             | 10                  | 2                        |
| 1 100            | 20 + 20        | 16             | 9,5                 | 2                        |
| 1 100            | 23 + 23        | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 120            | 16 + 16        | 20             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 120            | 19 + 19        | 17             | 9,5                 | 2                        |
| 1 120            | 22 + 22        | 15             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 120            | 11 + 26 + 11   | 12             | 12                  | 2                        |
| 1 130            | 17 + 17        | 19             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 130            | 19 + 18        | 18             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 130            | 24 + 24        | 14             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 130            | 26 + 26        | 13             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 140            | 10 + 22 + 10   | 14             | 14                  | 2,5                      |
| 1 140            | 21 + 21        | 16             | 9,5                 | 2                        |
| 1 160            | 12 + 22 + 12   | 12             | 11                  | 2                        |
| 1 160            | 13 + 24 + 13   | 10             | 10                  | 2                        |
| 1 160            | 20 + 20        | 17             | 9,5                 | 2                        |
| 1 170            | 23 + 23        | 15             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 170            | 11 + 22 + 11   | 14             | 12                  | 2,5                      |
| 1 180            | 19 + 19        | 18             | 9,5                 | 2                        |
| 1 190            | 17 + 17        | 20             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 190            | 18 + 18        | 19             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1 190            | 22 + 22        | 16             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 190            | 14 + 22 + 14   | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 1 210            | 24 + 24        | 15             | 9,5                 | 1,5                      |
| 1 210            | 10 + 24 + 10   | 16             | 12,5                | 2                        |
| 1 210            | 18 + 26 + 18   | 10             | 10                  | 2                        |
| 1 220            | 13 + 24 + 12   | 12             | 11                  | 2                        |
| 1 220            | 21 + 21        | 17             | 9,5                 | 2                        |
| 1 230            | 20 + 20        | 14             | 9,5                 | 2                        |
| 1 230            | 19 + 19        | 19             | 9,5                 | 2                        |
| 1 250            | 16 + 22 + 16   | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 1 250            | 14 + 24 + 14   | 10             | 9,5                 | 2                        |

Продолжение

Таблица 3

Элементы балок пролетом  $l = 5,0$  м.

| q<br>в кг/пог. м | Брусья      |             | Шаг нагелей в см | f <sub>стр</sub> в см | q<br>в кг/пог. м | Брусья      |              | Шаг нагелей в см | f <sub>стр</sub> в см |     |
|------------------|-------------|-------------|------------------|-----------------------|------------------|-------------|--------------|------------------|-----------------------|-----|
|                  | высота в см | ширина в см |                  |                       |                  | высота в см | ширина в см  |                  |                       |     |
| 1 250            |             | 23 + 23     | 16               | 9,5                   | 1,5              | 400         | 16 + 16      | 10               | 12                    | 3   |
| 1 260            | 11 +        | 24 + 11     | 14               | 12                    | 2                | 430         | 15 + 15      | 13               | 13,5                  | 3   |
| 1 260            |             | 18 + 18     | 20               | 9,5                   | 2,5              | 440         | 16 + 16      | 11               | 12                    | 3   |
| 1 270            |             | 22 + 22     | 17               | 9,5                   | 1,5              | 460         | 15 + 15      | 14               | 13,5                  | 3   |
| 1 280            | 17 +        | 22 + 17     | 10               | 9,5                   | 1,5              | 480         | 16 + 16      | 12               | 12                    | 3   |
| 1 280            | 15 +        | 24 + 15     | 10               | 9,5                   | 2                | 480         | 17 + 17      | 10               | 10,5                  | 3   |
| 1 290            | 12 +        | 25 + 12     | 12               | 11                    | 2                | 500         | 15 + 15      | 15               | 13,5                  | 3   |
| 1 290            | 10 +        | 22 + 10     | 18               | 14                    | 2,5              | 520         | 15 + 15      | 16               | 13,5                  | 3   |
| 1 290            |             | 21 + 21     | 18               | 9,5                   | 2                | 520         | 16 + 16      | 13               | 12                    | 3   |
| 1 300            |             | 20 + 20     | 19               | 9,5                   | 2                | 530         | 17 + 17      | 11               | 10,5                  | 3   |
| 1 300            |             | 24 + 24     | 16               | 9,5                   | 1,5              | 550         | 18 + 18      | 10               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 310            | 13 +        | 22 + 13     | 12               | 10                    | 2                | 560         | 15 + 15      | 17               | 13,5                  | 3   |
| 1 310            | 18 +        | 22 + 18     | 10               | 9,5                   | 1,5              | 560         | 16 + 16      | 14               | 12                    | 3   |
| 1 310            | 16 +        | 24 + 16     | 10               | 9,5                   | 1,5              | 560         | 19 + 19      | 10               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 310            | 14 +        | 26 + 14     | 10               | 9,5                   | 2                | 580         | 17 + 19      | 10               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 320            |             | 19 + 19     | 20               | 9,5                   | 2                | 580         | 10 + 22 + 10 | 10               | 16                    | 2,5 |
| 1 330            |             | 23 + 23     | 17               | 9,5                   | 1,5              | 580         | 17 + 17      | 12               | 10,5                  | 3   |
| 1 340            |             | 22 + 22     | 18               | 9,5                   | 1,5              | 590         | 15 + 15      | 18               | 13,5                  | 3   |
| 1 340            | 11 +        | 22 + 11     | 16               | 12                    | 2,5              | 600         | 16 + 16      | 15               | 12                    | 3   |
| 1 340            | 19 +        | 22 + 19     | 10               | 9,5                   | 1,5              | 610         | 20 + 20      | 10               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 340            | 17 +        | 24 + 17     | 10               | 9,5                   | 1,5              | 610         | 18 + 18      | 11               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 340            | 15 +        | 26 + 15     | 10               | 9,5                   | 1,5              | 610         | 10 + 24 + 10 | 10               | 15                    | 2,5 |
| 1 350            | 12 +        | 22 + 12     | 14               | 11                    | 2                | 630         | 15 + 15      | 19               | 18,5                  | 3   |
| 1 360            |             | 21 + 21     | 19               | 9,5                   | 2                | 630         | 17 + 17      | 13               | 10,5                  | 3   |
| 1 370            |             | 20 + 20     | 20               | 9,5                   | 2                | 640         | 19 + 19      | 11               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 370            | 18 +        | 24 + 18     | 10               | 9,5                   | 1,5              | 640         | 16 + 16      | 16               | 12                    | 3   |
| 1 370            | 16 +        | 26 + 16     | 10               | 9,5                   | 1,5              | 650         | 21 + 21      | 10               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 390            | 13 +        | 24 + 13     | 12               | 10                    | 2                | 650         | 10 + 26 + 10 | 10               | 15                    | 2   |
| 1 410            | 17 +        | 26 + 17     | 10               | 9,5                   | 1,5              | 660         | 15 + 15      | 20               | 13,5                  | 3   |
| 1 410            |             | 22 + 22     | 19               | 9,5                   | 1,5              | 670         | 20 + 20      | 11               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 420            | 12 +        | 24 + 12     | 14               | 11                    | 2                | 670         | 18 + 18      | 12               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 430            |             | 21 + 21     | 20               | 9,5                   | 2                | 670         | 22 + 22      | 10               | 9,5                   | 2   |
| 1 430            | 14 +        | 22 + 14     | 12               | 9,5                   | 2                | 680         | 17 + 17      | 14               | 10,5                  | 3   |
| 1 430            | 11 +        | 24 + 11     | 16               | 12                    | 2                | 680         | 16 + 16      | 17               | 12                    | 3   |
| 1 460            | 13 +        | 26 + 13     | 12               | 10                    | 2                | 680         | 10 + 22 + 11 | 10               | 13,5                  | 2,5 |
| 1 470            | 15 +        | 22 + 15     | 12               | 9,5                   | 2                | 690         | 19 + 19      | 12               | 15                    | 2,5 |
| 1 500            | 14 +        | 24 + 14     | 12               | 9,5                   | 2                | 700         | 21 + 21      | 11               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 500            | 16 +        | 22 + 16     | 12               | 9,5                   | 2                | 700         | 23 + 23      | 10               | 9,5                   | 2   |
| 1 510            | 11 +        | 22 + 11     | 18               | 12                    | 2,5              | 710         | 24 + 24      | 10               | 9,5                   | 2   |
| 1 530            | 15 +        | 24 + 15     | 12               | 9,5                   | 2                | 720         | 16 + 16      | 18               | 12                    | 3   |
| 1 530            | 13 +        | 22 + 13     | 14               | 10                    | 2                | 720         | 11 + 24 + 11 | 10               | 13                    | 2,5 |
| 1 530            | 17 +        | 22 + 17     | 12               | 9,5                   | 1,5              | 720         | 18 + 18      | 13               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 540            | 12 +        | 22 + 12     | 16               | 11                    | 2                | 730         | 17 + 17      | 15               | 10,5                  | 3   |
| 1 570            | 18 +        | 22 + 18     | 12               | 9,5                   | 1,5              | 730         | 20 + 20      | 12               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 570            | 16 +        | 24 + 16     | 12               | 9,5                   | 1,5              | 730         | 22 + 22      | 11               | 9,5                   | 2   |
| 1 570            | 14 +        | 26 + 14     | 12               | 9,5                   | 2                | 730         | 10 + 24 + 10 | 12               | 15                    | 2,5 |
| 1 600            | 17 +        | 24 + 17     | 12               | 9,5                   | 1,5              | 740         | 25 + 25      | 10               | 9,5                   | 1,5 |
| 1 600            | 15 +        | 26 + 15     | 12               | 9,5                   | 1,5              | 760         | 19 + 19      | 13               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 610            | 13 +        | 24 + 13     | 14               | 10                    | 2                | 760         | 21 + 23      | 11               | 9,5                   | 2   |
| 1 610            | 19 +        | 22 + 19     | 12               | 9,5                   | 1,5              | 760         | 21 + 21      | 12               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 630            | 12 +        | 24 + 12     | 16               | 11                    | 2                | 760         | 11 + 26 + 11 | 10               | 13                    | 2   |
| 1 640            | 18 +        | 24 + 18     | 12               | 9,5                   | 1,5              | 770         | 16 + 16      | 12               | 15                    | 2   |
| 1 640            | 16 +        | 26 + 16     | 12               | 9,5                   | 1,5              | 770         | 16 + 16      | 19               | 12                    | 3   |
| 1 670            | 14 +        | 22 + 14     | 12               | 9,5                   | 2                | 770         | 26 + 26      | 10               | 9,5                   | 1,5 |
| 1 690            | 17 +        | 26 + 17     | 12               | 9,5                   | 1,5              | 780         | 18 + 18      | 14               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 710            | 15 +        | 22 + 15     | 14               | 9,5                   | 2                | 780         | 17 + 17      | 16               | 10,5                  | 3   |
| 1 740            | 12 +        | 22 + 12     | 18               | 11                    | 2                | 780         | 12 + 22 + 12 | 10               | 12                    | 2,5 |
| 1 750            | 16 +        | 22 + 16     | 14               | 9,5                   | 2                | 790         | 20 + 20      | 13               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 750            | 14 +        | 24 + 14     | 14               | 9,5                   | 2                | 790         | 4 + 24       | 11               | 9,5                   | 2   |
| 1 760            | 13 +        | 22 + 13     | 16               | 10                    | 2                | 800         | 22 + 22      | 12               | 9,5                   | 2   |
| 1 790            | 17 +        | 22 + 17     | 14               | 9,5                   | 1,5              | 810         | 10 + 22 + 10 | 14               | 15                    | 2,5 |
| 1 800            | 15 +        | 24 + 15     | 14               | 9,5                   | 2                | 810         | 16 + 16      | 20               | 12                    | 3   |
| 1 800            | 18 +        | 22 + 18     | 14               | 9,5                   | 1,5              | 810         | 11 + 22 + 11 | 12               | 13,5                  | 2,5 |
| 1 840            | 16 +        | 24 + 16     | 14               | 9,5                   | 1,5              | 820         | 19 + 19      | 14               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 850            | 13 +        | 24 + 13     | 16               | 10                    | 2                | 820         | 25 + 25      | 11               | 9,5                   | 1,5 |
| 1 870            | 19 +        | 22 + 19     | 14               | 9,5                   | 1,5              | 820         | 12 + 24 + 12 | 10               | 12                    | 2,5 |
| 1 870            | 17 +        | 24 + 17     | 14               | 9,5                   | 1,5              | 830         | 18 + 18      | 15               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 910            | 14 +        | 22 + 14     | 16               | 9,5                   | 2                | 830         | 17 + 17      | 17               | 10,5                  | 3   |
| 1 910            | 18 +        | 24 + 18     | 14               | 9,5                   | 1,5              | 830         | 21 + 21      | 13               | 9,5                   | 2,5 |
| 1 950            | 15 +        | 22 + 15     | 16               | 9,5                   | 2                | 830         | 23 + 23      | 12               | 9,5                   | 2   |
| 1 970            | 13 +        | 22 + 13     | 18               | 10                    | 2                | 850         | 20 + 20      | 14               | 9,5                   | 2,5 |
| 2 000            | 16 +        | 22 + 16     | 18               | 9,5                   | 2                | 850         | 16 + 26      | 11               | 9,5                   | 1,5 |
| 2 000            | 14 +        | 24 + 14     | 16               | 9,5                   | 2                | 860         | 10 + 24 + 10 | 14               | 15                    | 2,5 |
| 2 050            | 17 +        | 22 + 17     | 16               | 9,5                   | 1,5              | 860         | 24 + 24      | 12               | 9,5                   | 2   |
| 2 090            | 15 +        | 24 + 15     | 16               | 9,5                   | 2                | 860         | 12 + 26 + 12 | 10               | 12                    | 2   |
| 2 090            | 18 +        | 22 + 18     | 16               | 9,5                   | 1,5              | 870         | 22 + 22      | 13               | 9,5                   | 2   |
| 2 090            | 16 +        | 24 + 16     | 16               | 9,5                   | 1,5              | 870         | 11 + 24 + 11 | 12               | 13                    | 2,5 |
| 2 140            | 19 +        | 22 + 19     | 16               | 9,5                   | 1,5              | 880         | 17 + 17      | 18               | 10,5                  | 3   |
| 2 140            | 17 +        | 24 + 17     | 18               | 9,5                   | 1,5              | 880         | 19 + 19      | 15               | 9,5                   | 2,5 |
| 2 150            | 14 +        | 22 + 14     | 18               | 9,5                   | 2                | 890         | 18 + 18      | 16               | 9,5                   | 2,5 |
| 2 190            | 18 +        | 24 + 18     | 16               | 9,5                   | 1,5              | 890         | 21 + 21      | 14               | 9,5                   | 2,5 |
| 2 300            | 15 +        | 22 + 15     | 18               | 9,5                   | 2                | 890         | 25 + 25      | 12               | 9,5                   | 1,5 |
| 2 300            | 16 +        | 22 + 16     | 18               | 9,5                   | 2                | 890         | 13 + 22 + 13 | 10               | 11                    | 2,5 |
| 2 350            | 17 +        | 22 + 17     | 18               | 9,5                   | 1,5              | 900         | 11 + 26 + 11 | 12               | 13                    | 2   |
| 2 350            | 18 +        | 22 + 18     | 18               | 9,5                   | 1,5              | 900         | 23 + 23      | 13               | 9,5                   | 2   |
| 2 410            | 19 +        | 22 + 19     | 18               | 9,5                   | 1,5              | 910         | 20 + 20      | 15               | 9,5                   | 2,5 |

Продолжение

| q<br>в кг/пог. м | Брусля       |              | Шаг нагеле-лей в см | t <sub>стр</sub> в см |
|------------------|--------------|--------------|---------------------|-----------------------|
|                  | высота в см  | ши-рина в см |                     |                       |
| 920              | 10 - 22 + 10 | 16           | 15                  | 2,5                   |
| 920              | 17 + 17      | 19           | 10,5                | 3                     |
| 930              | 22 + 22      | 14           | 9,5                 | 2                     |
| 930              | 24 + 24      | 13           | 9,5                 | 2                     |
| 930              | 26 + 26      | 12           | 9,5                 | 1,5                   |
| 930              | 12 + 22 + 12 | 12           | 12                  | 2,5                   |
| 930              | 13 + 24 + 13 | 11           | 11                  | 2,5                   |
| 940              | 19 + 19      | 16           | 9,5                 | 2,5                   |
| 950              | 18 + 18      | 17           | 9,5                 | 2,5                   |
| 950              | 11 + 22 + 11 | 14           | 13,5                | 2,5                   |
| 960              | 21 + 21      | 15           | 9,5                 | 2,5                   |
| 970              | 17 + 17      | 20           | 10,5                | 3                     |
| 970              | 25 + 25      | 13           | 9,5                 | 1,5                   |
| 970              | 20 + 20      | 16           | 9,5                 | 2,5                   |
| 970              | 23 + 23      | 14           | 9,5                 | 2                     |
| 970              | 10 + 24 + 10 | 16           | 15                  | 2,5                   |
| 980              | 13 + 26 + 13 | 10           | 11                  | 2                     |
| 990              | 18 + 18      | 18           | 9,5                 | 2,5                   |
| 990              | 19 + 19      | 17           | 9,5                 | 2,5                   |
| 990              | 12 + 24 + 12 | 12           | 12                  | 2,5                   |
| 990              | 22 + 22      | 15           | 9,5                 | 2                     |
| 990              | 14 + 22 + 14 | 10           | 10                  | 2,5                   |
| 1 000            | 24 + 24      | 14           | 9,5                 | 2                     |
| 1 000            | 26 + 26      | 13           | 9,5                 | 1,5                   |
| 1 000            | 11 + 24 + 11 | 14           | 13                  | 2,5                   |
| 1 020            | 21 + 21      | 16           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 030            | 20 + 20      | 17           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 040            | 28 + 23      | 15           | 9,5                 | 2                     |
| 1 040            | 12 + 26 + 12 | 12           | 12                  | 2                     |
| 1 040            | 10 + 22 + 10 | 18           | 15                  | 2,5                   |
| 1 050            | 18 + 18      | 19           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 050            | 14 + 24 + 14 | 10           | 10                  | 2                     |
| 1 050            | 19 + 19      | 18           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 060            | 13 + 22 + 13 | 12           | 11                  | 2,5                   |
| 1 060            | 22 + 22      | 16           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 070            | 24 + 24      | 15           | 9,5                 | 2                     |
| 1 080            | 21 + 21      | 17           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 080            | 11 + 22 + 11 | 16           | 13,5                | 2,5                   |
| 1 080            | 12 + 22 + 12 | 14           | 12                  | 2,5                   |
| 1 080            | 15 + 22 + 15 | 10           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 090            | 20 + 20      | 18           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 100            | 14 + 26 + 14 | 10           | 10                  | 2                     |
| 1 110            | 13 + 13 + 18 | 20           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 110            | 19 + 19      | 19           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 110            | 23 + 23      | 16           | 9,5                 | 2                     |
| 1 110            | 16 + 22 + 16 | 10           | 9,5                 | 2                     |
| 1 120            | 13 + 24 + 13 | 12           | 11                  | 2,5                   |
| 1 130            | 22 + 22      | 17           | 9,5                 | 2                     |
| 1 140            | 24 + 24      | 16           | 9,5                 | 2                     |
| 1 140            | 17 + 22 + 17 | 10           | 9,5                 | 2                     |
| 1 140            | 15 + 24 + 15 | 10           | 9,5                 | 2                     |
| 1 150            | 21 + 21      | 18           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 150            | 11 + 24 + 11 | 16           | 13                  | 2,5                   |
| 1 160            | 20 + 20      | 19           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 160            | 12 + 24 + 12 | 14           | 12                  | 2,5                   |
| 1 160            | 16 + 24 + 16 | 10           | 9,5                 | 2                     |
| 1 160            | 18 + 22 + 18 | 10           | 9,5                 | 2                     |
| 1 170            | 19 + 19      | 20           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 180            | 23 + 23      | 17           | 9,5                 | 2                     |
| 1 180            | 13 + 26 + 13 | 12           | 11                  | 2                     |
| 1 190            | 14 + 22 + 14 | 12           | 10                  | 2,5                   |
| 1 190            | 19 + 22 + 19 | 10           | 9,5                 | 2                     |
| 1 190            | 17 + 24 + 17 | 10           | 9,5                 | 2                     |
| 1 190            | 15 + 26 + 15 | 10           | 9,5                 | 2                     |
| 1 200            | 22 + 22      | 18           | 9,5                 | 2                     |
| 1 210            | 21 + 21      | 19           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 220            | 20 + 20      | 20           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 220            | 18 + 24 + 18 | 10           | 9,5                 | 2                     |
| 1 220            | 16 + 26 + 16 | 10           | 9,5                 | 2                     |
| 1 220            | 11 + 22 + 11 | 18           | 13,5                | 2,5                   |
| 1 230            | 13 + 22 + 13 | 14           | 11                  | 2,5                   |
| 1 240            | 12 + 22 + 12 | 16           | 12                  | 2,5                   |
| 1 250            | 17 + 26 + 17 | 10           | 9,5                 | 2                     |
| 1 270            | 14 + 24 + 14 | 12           | 10                  | 2                     |
| 1 270            | 21 + 21      | 20           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 270            | 22 + 22      | 19           | 9,5                 | 2                     |
| 1 300            | 15 + 22 + 15 | 12           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 300            | 18 + 24 + 18 | 14           | 11                  | 2,5                   |
| 1 320            | 14 + 26 + 14 | 12           | 10                  | 2                     |
| 1 330            | 12 + 24 + 12 | 16           | 12                  | 2,5                   |
| 1 360            | 16 + 22 + 16 | 12           | 9,5                 | 2                     |
| 1 360            | 17 + 22 + 17 | 12           | 9,5                 | 2                     |
| 1 360            | 15 + 24 + 15 | 12           | 9,5                 | 2                     |
| 1 390            | 18 + 22 + 18 | 12           | 9,5                 | 2                     |
| 1 390            | 16 + 24 + 16 | 12           | 9,5                 | 2                     |
| 1 390            | 14 + 22 + 14 | 14           | 10                  | 2,5                   |
| 1 400            | 12 + 22 + 12 | 18           | 12                  | 2,5                   |

Продолжение

| q<br>в кг/пог. м | Брусля       |              | Шаг нагеле-лей в см | t <sub>стр</sub> в см |
|------------------|--------------|--------------|---------------------|-----------------------|
|                  | высота в см  | ши-рина в см |                     |                       |
| 1 420            | 13 - 22 + 13 | 16           | 11                  | 9,5                   |
| 1 420            | 19 - 22 + 19 | 12           | 9,5                 | 2                     |
| 1 420            | 17 - 24 + 17 | 12           | 9,5                 | 2                     |
| 1 420            | 15 - 26 + 15 | 12           | 9,5                 | 2                     |
| 1 460            | 18 - 24 + 18 | 12           | 9,5                 | 2                     |
| 1 460            | 16 + 26 + 16 | 12           | 9,5                 | 2                     |
| 1 470            | 14 - 24 + 14 | 14           | 10                  | 2                     |
| 1 500            | 13 - 24 + 13 | 16           | 11                  | 2                     |
| 1 500            | 17 - 26 + 17 | 12           | 9,5                 | 2                     |
| 1 510            | 15 + 22 + 15 | 14           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 560            | 16 + 22 + 16 | 14           | 9,5                 | 2                     |
| 1 590            | 13 - 22 + 13 | 18           | 11                  | 2,5                   |
| 1 590            | 14 + 22 + 14 | 16           | 10                  | 2,5                   |
| 1 600            | 17 + 22 + 17 | 14           | 9,5                 | 2                     |
| 1 600            | 15 + 24 + 15 | 14           | 9,5                 | 2                     |
| 1 620            | 15 + 22 + 18 | 14           | 9,5                 | 2                     |
| 1 630            | 16 + 24 + 16 | 14           | 9,5                 | 2                     |
| 1 660            | 19 + 22 + 19 | 14           | 9,5                 | 2                     |
| 1 660            | 17 + 24 + 17 | 14           | 9,5                 | 2                     |
| 1 680            | 14 + 24 + 14 | 16           | 10                  | 2                     |
| 1 700            | 18 + 24 + 18 | 14           | 9,5                 | 2                     |
| 1 730            | 15 + 22 + 15 | 16           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 770            | 16 + 22 + 16 | 16           | 9,5                 | 2                     |
| 1 790            | 14 + 22 + 14 | 18           | 10                  | 2,5                   |
| 1 820            | 17 + 22 + 17 | 16           | 9,5                 | 2                     |
| 1 820            | 15 + 24 + 15 | 16           | 9,5                 | 2                     |
| 1 850            | 18 - 22 + 18 | 16           | 9,5                 | 2                     |
| 1 850            | 16 + 24 + 16 | 16           | 9,5                 | 2                     |
| 1 900            | 19 + 22 + 19 | 16           | 9,5                 | 2                     |
| 1 900            | 17 + 24 + 17 | 16           | 9,5                 | 2                     |
| 1 950            | 15 - 22 + 15 | 18           | 9,5                 | 2,5                   |
| 1 950            | 18 - 24 + 18 | 16           | 9,5                 | 2                     |
| 2 000            | 16 - 22 + 16 | 18           | 9,5                 | 2                     |
| 2 040            | 17 - 22 + 17 | 18           | 9,5                 | 2                     |
| 2 080            | 18 - 22 + 18 | 18           | 9,5                 | 2                     |
| 2 130            | 19 + 22 + 19 | 18           | 9,5                 | 2                     |

Таблица 4

Элементы боек пролетом l = 5.5 м

| q<br>в кг/пог. м | Брусля       |              | Шаг нагеле-лей в см | t <sub>стр</sub> в см |
|------------------|--------------|--------------|---------------------|-----------------------|
|                  | высота в см  | ши-рина в см |                     |                       |
| 410              | 15 + 15      | 17           | 16                  | 3,5                   |
| 410              | 16 + 16      | 14           | 14                  | 3                     |
| 430              | 17 + 17      | 12           | 12,5                | 3                     |
| 430              | 18 + 18      | 10           | 11                  | 3                     |
| 440              | 15 + 15      | 18           | 16                  | 3,5                   |
| 440              | 16 + 16      | 15           | 14                  | 3                     |
| 460              | 15 + 15      | 19           | 16                  | 3,5                   |
| 470              | 17 + 17      | 13           | 12,5                | 3                     |
| 470              | 18 + 18      | 11           | 11                  | 3                     |
| 470              | 16 + 16      | 16           | 14                  | 3                     |
| 490              | 10 + 22 + 10 | 10           | 16,5                | 3                     |
| 490              | 15 + 15      | 20           | 16                  | 3,5                   |
| 500              | 19 + 19      | 10           | 10                  | 3                     |
| 500              | 16 + 16      | 17           | 14                  | 3                     |
| 500              | 17 + 17      | 14           | 12,5                | 3                     |
| 500              | 10 + 24 + 10 | 10           | 16,5                | 2,5                   |
| 520              | 18 + 18      | 12           | 11                  | 3                     |
| 530              | 10 + 26 + 10 | 10           | 16,5                | 2,5                   |
| 530              | 16 + 16      | 18           | 14                  | 3                     |
| 540              | 17 + 17      | 15           | 12,5                | 3                     |
| 550              | 10 + 22 + 10 | 10           | 9,5                 | 3                     |
| 550              | 11 + 22 + 11 | 10           | 15                  | 3                     |
| 550              | 19 + 19      | 11           | 10                  | 3                     |
| 580              | 18 + 18      | 13           | 11                  | 3                     |
| 590              | 16 + 16      | 19           | 14                  | 3                     |
| 570              | 21 + 21      | 10           | 9,5                 | 2,5                   |
| 570              | 17 + 17      | 16           | 12,5                | 3                     |
| 570              | 10 + 22 + 10 | 12           | 16,5                | 3                     |
| 590              | 11 + 24 + 11 | 10           | 14,5                | 2,5                   |
| 600              | 16 + 16      | 20           | 14                  | 3                     |
| 600              | 20 + 20      | 11           | 9,5                 | 3                     |
| 600              | 18 + 18      | 14           | 11                  | 3                     |
| 600              | 10 + 24 + 10 | 12           | 16,5                | 2,5                   |
| 600              | 19 + 19      | 12           | 10                  | 3                     |
| 600              | 22 + 22      | 10           | 9,5                 | 2,5                   |
| 610              | 17 + 17      | 17           | 12,5                | 3                     |
| 620              | 23 + 23      | 10           | 9,5                 | 2,5                   |
| 620              | 11 + 26 + 11 | 10           | 14,5                | 2,5                   |
| 630              | 21 + 21      | 11           | 9,5                 | 2,5                   |
| 630              | 12 + 22 + 12 | 10           | 13                  | 3                     |
| 640              | 18 + 18      | 15           | 11                  | 3                     |
| 640              | 10 + 26 + 10 | 12           | 16,5                | 2,5                   |

Продолжение

Продолжение

| q<br>в кг/пог. м | Брусья         |                | Шаг нагелей<br>в см | f <sub>стр</sub><br>в см |
|------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------------|
|                  | высота<br>в см | ширина<br>в см |                     |                          |
| 650              | 17 + 17        | 18             | 12,5                | 3                        |
| 650              | 19 + 19        | 13             | 10                  | 3                        |
| 650              | 22 + 22        | 11             | 9,5                 | 2,5                      |
| 650              | 24 + 24        | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 660              | 20 + 20        | 12             | 9,5                 | 3                        |
| 660              | 11 + 22 + 11   | 12             | 15                  | 3                        |
| 670              | 25 + 25        | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 670              | 10 + 22 + 10   | 14             | 16,5                | 3                        |
| 670              | 12 + 24 + 12   | 10             | 13                  | 2,5                      |
| 680              | 23 + 23        | 11             | 9,5                 | 2,5                      |
| 680              | 17 + 17        | 19             | 12,5                | 3                        |
| 690              | 18 + 18        | 16             | 11                  | 3                        |
| 690              | 21 + 21        | 12             | 9,5                 | 2,5                      |
| 690              | 26 + 26        | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 700              | 10 + 24 + 10   | 14             | 16,5                | 2,5                      |
| 710              | 19 + 19        | 14             | 10                  | 3                        |
| 710              | 17 + 17        | 20             | 12,5                | 3                        |
| 710              | 24 + 24        | 11             | 9,5                 | 2                        |
| 710              | 11 + 24 + 11   | 12             | 14,5                | 2,5                      |
| 710              | 10 + 26 + 10   | 10             | 13                  | 2,5                      |
| 710              | 20 + 20        | 13             | 9,5                 | 3                        |
| 720              | 22 + 22        | 12             | 9,5                 | 2,5                      |
| 720              | 13 + 22 + 13   | 10             | 12                  | 2,5                      |
| 730              | 18 + 18        | 17             | 11                  | 3                        |
| 730              | 25 + 25        | 11             | 9,5                 | 2                        |
| 740              | 23 + 23        | 12             | 9,5                 | 2,5                      |
| 740              | 11 + 26 + 11   | 12             | 14,5                | 2,5                      |
| 750              | 21 + 21        | 13             | 9,5                 | 2,5                      |
| 760              | 19 + 19        | 15             | 10                  | 3                        |
| 760              | 26 + 26        | 11             | 9,5                 | 2                        |
| 760              | 12 + 22 + 12   | 12             | 13                  | 3                        |
| 770              | 18 + 18        | 18             | 11                  | 3                        |
| 770              | 20 + 20        | 14             | 9,5                 | 3                        |
| 770              | 22 + 22        | 13             | 9,5                 | 2,5                      |
| 770              | 24 + 24        | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 770              | 10 + 22 + 10   | 16             | 16,5                | 3                        |
| 770              | 11 + 22 + 11   | 14             | 15                  | 3                        |
| 770              | 13 + 24 + 13   | 10             | 12                  | 2,5                      |
| 800              | 21 + 21        | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 800              | 13 + 26 + 13   | 10             | 12                  | 2,5                      |
| 810              | 19 + 19        | 16             | 10                  | 3                        |
| 810              | 10 + 24 + 10   | 16             | 16,5                | 2,5                      |
| 810              | 25 + 25        | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 810              | 12 + 24 + 12   | 12             | 13                  | 2,5                      |
| 810              | 23 + 23        | 13             | 9,5                 | 2,5                      |
| 820              | 18 + 18        | 19             | 11                  | 3                        |
| 820              | 14 + 22 + 14   | 10             | 11                  | 2,5                      |
| 820              | 20 + 20        | 15             | 9,5                 | 3                        |
| 830              | 26 + 26        | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 830              | 11 + 24 + 11   | 14             | 14,5                | 2,5                      |
| 840              | 24 + 24        | 13             | 9,5                 | 2                        |
| 840              | 22 + 22        | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 860              | 18 + 18        | 20             | 11                  | 3                        |
| 860              | 19 + 19        | 17             | 10                  | 3                        |
| 860              | 21 + 21        | 15             | 9,5                 | 2,5                      |
| 860              | 23 + 23        | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 860              | 25 + 25        | 13             | 9,5                 | 2                        |
| 860              | 10 + 22 + 10   | 18             | 16,5                | 3                        |
| 860              | 14 + 24 + 14   | 10             | 11                  | 2,5                      |
| 860              | 12 + 26 + 12   | 12             | 13                  | 2,5                      |
| 870              | 20 + 20        | 16             | 9,5                 | 3                        |
| 870              | 11 + 22 + 11   | 16             | 15                  | 3                        |
| 870              | 13 + 22 + 13   | 12             | 12                  | 2,5                      |
| 890              | 22 + 22        | 15             | 9,5                 | 2,5                      |
| 890              | 12 + 22 + 12   | 14             | 13                  | 3                        |
| 900              | 24 + 24        | 14             | 9,5                 | 2                        |
| 900              | 26 + 26        | 13             | 9,5                 | 2                        |
| 900              | 14 + 26 + 14   | 10             | 11                  | 2,5                      |
| 910              | 19 + 19        | 18             | 10                  | 3                        |
| 910              | 21 + 21        | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 920              | 13 + 24 + 13   | 12             | 12                  | 2,5                      |
| 920              | 15 + 22 + 15   | 10             | 10                  | 2,5                      |
| 930              | 20 + 20        | 17             | 9,5                 | 3                        |
| 930              | 23 + 23        | 15             | 9,5                 | 2,5                      |
| 940              | 11 + 24 + 11   | 16             | 14,5                | 2,5                      |
| 940              | 12 + 24 + 12   | 14             | 13                  | 2,5                      |
| 950              | 22 + 22        | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 960              | 19 + 19        | 19             | 10                  | 3                        |
| 960              | 24 + 24        | 15             | 9,5                 | 2                        |
| 960              | 15 + 24 + 15   | 10             | 10                  | 2,5                      |
| 960              | 13 + 26 + 13   | 12             | 12                  | 2,5                      |
| 970              | 21 + 21        | 17             | 9,5                 | 2,5                      |
| 980              | 14 + 22 + 14   | 12             | 11                  | 2,5                      |
| 990              | 20 + 20        | 18             | 9,5                 | 3                        |
| 990              | 23 + 23        | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 990              | 11 + 22 + 11   | 18             | 15                  | 3                        |
| 990              | 16 + 22 + 16   | 10             | 9,5                 | 2,5                      |

| q<br>в кг/пог. м | Брусья         |                | Шаг нагелей<br>в см | f <sub>стр</sub><br>в см |
|------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------------|
|                  | высота<br>в см | ширина<br>в см |                     |                          |
| 1010             | 19 + 19        | 20             | 10                  | 3                        |
| 1010             | 22 + 22        | 17             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1010             | 15 + 26 + 15   | 10             | 10                  | 2,5                      |
| 1020             | 17 + 22 + 17   | 10             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1020             | 13 + 22 + 13   | 14             | 12                  | 2,5                      |
| 1020             | 12 + 22 + 12   | 16             | 13                  | 3                        |
| 1030             | 24 + 24        | 16             | 9,5                 | 2                        |
| 1030             | 21 + 21        | 18             | 9,5                 | 2                        |
| 1040             | 14 + 24 + 14   | 12             | 11                  | 2,5                      |
| 1040             | 20 + 20        | 19             | 9,5                 | 3                        |
| 1050             | 18 + 22 + 18   | 10             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1050             | 16 + 24 + 16   | 10             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1050             | 19 + 23 + 19   | 17             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1070             | 17 + 22 + 17   | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 1070             | 19 + 24 + 19   | 10             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1070             | 13 + 24 + 13   | 14             | 12                  | 2,5                      |
| 1080             | 22 + 22        | 18             | 9,5                 | 2                        |
| 1080             | 12 + 24 + 12   | 16             | 13                  | 2,5                      |
| 1080             | 14 + 26 + 14   | 12             | 11                  | 2,5                      |
| 1090             | 21 + 21        | 19             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1100             | 20 + 20        | 20             | 9,5                 | 3                        |
| 1100             | 15 + 22 + 15   | 12             | 10                  | 2,5                      |
| 1100             | 17 + 24 + 17   | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 1100             | 16 + 26 + 16   | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 1120             | 17 + 26 + 17   | 10             | 9,5                 | 2                        |
| 1140             | 21 + 21        | 20             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1140             | 22 + 22        | 19             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1140             | 14 + 22 + 14   | 14             | 11                  | 2,5                      |
| 1150             | 12 + 22 + 12   | 18             | 13                  | 3                        |
| 1150             | 15 + 24 + 15   | 12             | 10                  | 2,5                      |
| 1160             | 13 + 22 + 13   | 16             | 12                  | 2,5                      |
| 1180             | 16 + 22 + 16   | 12             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1200             | 14 + 24 + 14   | 14             | 11                  | 2,5                      |
| 1210             | 15 + 26 + 15   | 12             | 10                  | 2,5                      |
| 1220             | 17 + 22 + 17   | 12             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1230             | 13 + 24 + 13   | 16             | 12                  | 2,5                      |
| 1260             | 18 + 22 + 18   | 12             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1260             | 16 + 24 + 16   | 12             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1280             | 15 + 22 + 15   | 14             | 10                  | 2,5                      |
| 1280             | 19 + 22 + 19   | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 1280             | 17 + 24 + 17   | 12             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1310             | 13 + 22 + 13   | 19             | 12                  | 2,5                      |
| 1310             | 14 + 22 + 14   | 16             | 11                  | 2,5                      |
| 1310             | 18 + 24 + 18   | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 1320             | 16 + 26 + 16   | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 1340             | 17 + 26 + 17   | 12             | 9,5                 | 2                        |
| 1350             | 15 + 24 + 15   | 14             | 10                  | 2,5                      |
| 1380             | 14 + 24 + 14   | 16             | 11                  | 2,5                      |
| 1390             | 16 + 22 + 16   | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1430             | 17 + 22 + 17   | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1470             | 14 + 22 + 14   | 18             | 11                  | 2,5                      |
| 1470             | 15 + 22 + 15   | 16             | 10                  | 2,5                      |
| 1470             | 18 + 22 + 18   | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1470             | 16 + 24 + 16   | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1490             | 19 + 22 + 19   | 14             | 9,5                 | 2                        |
| 1490             | 17 + 24 + 17   | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1530             | 18 + 24 + 18   | 14             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1540             | 15 + 24 + 15   | 16             | 10                  | 2,5                      |
| 1580             | 16 + 22 + 16   | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1630             | 17 + 22 + 17   | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1650             | 15 + 22 + 15   | 18             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1680             | 18 + 22 + 18   | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1680             | 16 + 24 + 16   | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1710             | 19 + 22 + 19   | 16             | 9,5                 | 2                        |
| 1710             | 17 + 24 + 17   | 16             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1750             | 18 + 24 + 18   | 16             | 9,5                 | 2                        |
| 1790             | 16 + 22 + 16   | 18             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1830             | 17 + 22 + 17   | 18             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1890             | 18 + 22 + 18   | 18             | 9,5                 | 2,5                      |
| 1920             | 19 + 22 + 19   | 18             | 9,5                 | 2                        |

Таблица 5

Элементы балок пролетом l = 6,0 м

| q<br>в кг/пог. м | Брусья         |                | Шаг нагелей<br>в см | f <sub>стр</sub><br>в см |
|------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------------|
|                  | высота<br>в см | ширина<br>в см |                     |                          |
| 410              | 16 + 16        | 18             | 16,5                | 3,5                      |
| 410              | 17 + 17        | 15             | 14,5                | 3,5                      |
| 420              | 10 + 24 + 10   | 10             | 18                  | 3                        |
| 420              | 19 + 19        | 11             | 11,5                | 3,5                      |
| 430              | 16 + 16        | 19             | 16,5                | 3,5                      |
| 430              | 17 + 17        | 16             | 14,5                | 3,5                      |
| 430              | 18 + 18        | 13             | 18                  | 3,5                      |



Продолжение

Продолжение

| q   | Брусья         |                     | Шаг<br>нагеле-<br>лей<br>в см | f <sub>стр</sub><br>в см |
|-----|----------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------|
|     | высота<br>в см | ши-<br>рина<br>в см |                               |                          |
| 450 | 16 - 16        | 20                  | 16,5                          | 3,5                      |
| 450 | 18 - 18        | 14                  | 18                            | 3,5                      |
| 450 | 10 + 26 + 10   | 10                  | 25                            | 3                        |
| 450 | 20 - 20        | 10                  | 10                            | 3,5                      |
| 460 | 17 - 17        | 17                  | 14,5                          | 3,5                      |
| 460 | 19 - 19        | 12                  | 11,5                          | 3,5                      |
| 490 | 11 + 22 - 11   | 10                  | 16                            | 3,5                      |
| 480 | 10 + 22 - 10   | 12                  | 13                            | 3,5                      |
| 490 | 17 - 17        | 18                  | 14,5                          | 3,5                      |
| 490 | 18 - 18        | 15                  | 13                            | 3,5                      |
| 500 | 19 + 19        | 13                  | 11,5                          | 3,5                      |
| 500 | 20 + 20        | 11                  | 10                            | 3,5                      |
| 500 | 10 - 24 + 10   | 12                  | 16                            | 3                        |
| 500 | 11 + 24 + 11   | 10                  | 15,5                          | 3                        |
| 510 | 11 + 26 + 11   | 10                  | 16                            | 3                        |
| 520 | 17 + 17        | 19                  | 14,5                          | 3,5                      |
| 520 | 18 - 18        | 16                  | 13                            | 3,5                      |
| 520 | 21 - 21        | 10                  | 9,5                           | 3                        |
| 540 | 17 - 17        | 20                  | 14,5                          | 3,5                      |
| 540 | 19 - 19        | 14                  | 11,5                          | 3,5                      |
| 540 | 20 + 20        | 12                  | 10                            | 3,5                      |
| 540 | 22 - 22        | 10                  | 9,5                           | 3                        |
| 540 | 12 - 22 - 12   | 10                  | 14                            | 3,5                      |
| 540 | 10 + 26 + 10   | 12                  | 18                            | 3                        |
| 550 | 13 - 13        | 17                  | 13                            | 3,5                      |
| 550 | 11 - 22 + 11   | 12                  | 16                            | 3,5                      |
| 560 | 10 - 22 + 10   | 14                  | 18                            | 3,5                      |
| 560 | 12 - 24 + 12   | 10                  | 14                            | 3                        |
| 570 | 21 + 21        | 11                  | 9,5                           | 3                        |
| 570 | 23 + 23        | 10                  | 9,5                           | 3                        |
| 580 | 18 + 18        | 19                  | 13                            | 3,5                      |
| 580 | 19 + 19        | 15                  | 11,5                          | 3,5                      |
| 580 | 24 + 24        | 10                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 590 | 20 - 20        | 13                  | 10                            | 3,5                      |
| 590 | 22 - 22        | 11                  | 9,5                           | 3                        |
| 590 | 10 - 24 + 10   | 14                  | 18                            | 3                        |
| 590 | 11 + 24 + 11   | 12                  | 15,5                          | 3                        |
| 590 | 12 + 26 + 12   | 10                  | 14                            | 3                        |
| 610 | 25 + 25        | 10                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 610 | 13 + 22 + 13   | 10                  | 13                            | 3                        |
| 620 | 18 + 18        | 19                  | 13                            | 3,5                      |
| 620 | 19 + 19        | 16                  | 11,5                          | 3,5                      |
| 620 | 21 + 21        | 12                  | 9,5                           | 3                        |
| 620 | 23 + 23        | 11                  | 9,5                           | 3                        |
| 620 | 11 + 26 + 11   | 12                  | 16                            | 3                        |
| 630 | 26 + 26        | 10                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 630 | 20 + 20        | 14                  | 10                            | 3,5                      |
| 630 | 10 + 22 + 10   | 16                  | 18                            | 3,5                      |
| 640 | 12 + 22 + 12   | 12                  | 14                            | 3,5                      |
| 640 | 13 + 24 + 13   | 10                  | 13                            | 3                        |
| 640 | 24 + 24        | 11                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 650 | 18 + 18        | 20                  | 13                            | 3,5                      |
| 650 | 19 - 19        | 17                  | 11,5                          | 3,5                      |
| 650 | 22 - 22        | 12                  | 9,5                           | 3                        |
| 650 | 11 + 22 + 11   | 14                  | 16                            | 3,5                      |
| 660 | 10 + 24 + 10   | 16                  | 18                            | 3                        |
| 670 | 21 + 21        | 13                  | 9,5                           | 3                        |
| 670 | 25 + 25        | 11                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 670 | 13 + 26 + 13   | 10                  | 13                            | 3                        |
| 680 | 20 + 20        | 15                  | 10                            | 3,5                      |
| 680 | 23 + 23        | 12                  | 9,5                           | 3                        |
| 680 | 14 + 22 + 14   | 10                  | 12                            | 3                        |
| 680 | 12 + 24 + 12   | 12                  | 14                            | 3                        |
| 690 | 19 + 19        | 18                  | 11,5                          | 3,5                      |
| 690 | 26 + 26        | 11                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 700 | 22 + 22        | 13                  | 9,5                           | 3                        |
| 700 | 24 + 24        | 2                   | 9,5                           | 2,5                      |
| 700 | 11 + 24 + 11   | 14                  | 15,5                          | 3                        |
| 720 | 10 + 22 + 10   | 18                  | 18                            | 3,5                      |
| 720 | 12 + 26 + 12   | 12                  | 14                            | 3                        |
| 720 | 14 + 24 + 14   | 10                  | 11,5                          | 3                        |
| 730 | 19 + 19        | 19                  | 11,5                          | 3,5                      |
| 730 | 20 + 20        | 16                  | 10                            | 3,5                      |
| 730 | 21 + 21        | 14                  | 9,5                           | 3                        |
| 730 | 25 + 25        | 12                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 730 | 13 + 22 + 13   | 12                  | 13                            | 3                        |
| 740 | 23 + 23        | 13                  | 9,5                           | 3                        |
| 740 | 11 + 22 - 11   | 16                  | 16                            | 3                        |
| 750 | 12 + 22 - 12   | 14                  | 14                            | 3,5                      |
| 760 | 22 + 22        | 14                  | 9,5                           | 3                        |
| 760 | 26 + 26        | 12                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 760 | 24 + 24        | 13                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 760 | 14 + 26 + 14   | 10                  | 11,5                          | 2,5                      |
| 770 | 19 + 19        | 20                  | 11,5                          | 3,5                      |
| 770 | 20 + 20        | 17                  | 10                            | 3,5                      |
| 770 | 13 + 24 + 13   | 12                  | 13                            | 3                        |
| 770 | 15 + 22 + 15   | 10                  | 11                            | 3                        |
| 780 | 21 + 21        | 15                  | 9,5                           | 3                        |

| q     | Бруска         |                     | Шаг<br>нагеле-<br>лей<br>в см | f <sub>стр</sub><br>в см |
|-------|----------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------|
|       | высота<br>в см | ши-<br>рина<br>в см |                               |                          |
| 790   | 23 + 23        | 14                  | 9,5                           | 3                        |
| 790   | 25 - 25        | 13                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 790   | 12 + 24 + 12   | 14                  | 14                            | 3                        |
| 790   | 11 - 24 + 11   | 16                  | 15,5                          | 3                        |
| 800   | 15 + 24 + 15   | 10                  | 11                            | 3                        |
| 810   | 20 + 20        | 18                  | 10                            | 3,5                      |
| 810   | 22 + 22        | 15                  | 9,5                           | 3                        |
| 810   | 13 + 26 + 13   | 12                  | 13                            | 3                        |
| 820   | 26 + 26        | 13                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 820   | 14 + 22 + 14   | 12                  | 14                            | 3                        |
| 830   | 21 + 21        | 16                  | 9,5                           | 3                        |
| 830   | 11 + 22 + 11   | 18                  | 16                            | 3,5                      |
| 840   | 15 + 26 + 15   | 10                  | 11                            | 2,5                      |
| 850   | 23 + 23        | 15                  | 9,5                           | 3                        |
| 850   | 16 + 22 + 16   | 10                  | 10                            | 3                        |
| 860   | 20 + 20        | 19                  | 10                            | 3,5                      |
| 860   | 22 + 22        | 16                  | 9,5                           | 3                        |
| 860   | 12 - 22 + 12   | 16                  | 14                            | 3,5                      |
| 860   | 13 - 22 - 13   | 14                  | 13                            | 3                        |
| 870   | 14 - 24 + 14   | 12                  | 11,5                          | 3                        |
| 880   | 24 + 24        | 15                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 880   | 21 + 21        | 17                  | 9,5                           | 3                        |
| 890   | 16 + 24 + 16   | 10                  | 10                            | 2,5                      |
| 900   | 13 + 24 + 13   | 14                  | 13                            | 3                        |
| 910   | 20 + 20        | 20                  | 10                            | 3,5                      |
| 910   | 13 + 23        | 16                  | 9,5                           | 3                        |
| 910   | 12 + 24 - 12   | 16                  | 14                            | 3                        |
| 910   | 14 + 26 - 14   | 12                  | 11,5                          | 2,5                      |
| 920   | 22 - 22        | 17                  | 9,5                           | 3                        |
| 920   | 15 + 23 - 15   | 12                  | 11                            | 3                        |
| 930   | 21 - 21        | 18                  | 9,5                           | 3                        |
| 930   | 24 + 24        | 16                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 930   | 17 + 21 + 17   | 10                  | 9,5                           | 3                        |
| 940   | 16 + 26 - 16   | 10                  | 10                            | 2,5                      |
| 950   | 18 + 22 - 18   | 10                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 960   | 23 - 23        | 17                  | 9,5                           | 3                        |
| 960   | 14 + 22 - 14   | 14                  | 12                            | 3                        |
| 960   | 13 + 22 + 13   | 16                  | 13                            | 3                        |
| 960   | 12 + 22 + 12   | 18                  | 14                            | 3,5                      |
| 970   | 15 + 24 + 15   | 12                  | 11                            | 3                        |
| 970   | 17 + 24 + 17   | 10                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 980   | 21 + 21        | 19                  | 9,5                           | 3                        |
| 980   | 22 + 22        | 18                  | 9,5                           | 3                        |
| 980   | 19 + 22 + 19   | 10                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 000 | 18 + 24 + 18   | 10                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 010 | 15 + 26 + 15   | 12                  | 11                            | 2,5                      |
| 1 010 | 14 + 24 + 14   | 14                  | 11,5                          | 3                        |
| 1 020 | 16 + 22 + 16   | 12                  | 10                            | 3                        |
| 1 030 | 17 + 23 + 17   | 10                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 030 | 22 + 22        | 19                  | 9,5                           | 3                        |
| 1 030 | 13 + 24 + 13   | 16                  | 13                            | 3                        |
| 1 030 | 21 + 21        | 20                  | 9,5                           | 3                        |
| 1 060 | 16 + 24 - 16   | 12                  | 10                            | 2,5                      |
| 1 080 | 15 + 22 + 15   | 14                  | 11                            | 3                        |
| 1 090 | 13 + 22 + 13   | 18                  | 13                            | 3                        |
| 1 100 | 14 + 22 + 14   | 16                  | 12                            | 3                        |
| 1 110 | 17 + 22 + 17   | 12                  | 9,5                           | 3                        |
| 1 120 | 16 + 26 - 16   | 12                  | 10                            | 2,5                      |
| 1 130 | 15 + 24 - 15   | 14                  | 11                            | 3                        |
| 1 140 | 18 + 22 - 18   | 12                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 150 | 14 + 24 - 14   | 16                  | 11,5                          | 3                        |
| 1 160 | 17 + 24 + 17   | 12                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 170 | 19 + 22 - 19   | 12                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 190 | 16 + 22 - 16   | 14                  | 10                            | 3                        |
| 1 200 | 18 + 24 + 18   | 12                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 220 | 15 + 22 + 15   | 16                  | 11                            | 3                        |
| 1 230 | 17 + 26 - 17   | 12                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 230 | 14 + 22 - 14   | 18                  | 12                            | 3                        |
| 1 240 | 16 + 24 + 16   | 14                  | 10                            | 2,5                      |
| 1 240 | 15 + 24 + 15   | 16                  | 11                            | 3                        |
| 1 300 | 17 + 22 + 17   | 14                  | 9,5                           | 3                        |
| 1 330 | 18 + 22 + 18   | 14                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 350 | 17 + 24 + 17   | 14                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 350 | 19 + 22 + 19   | 14                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 360 | 16 + 22 + 16   | 16                  | 10                            | 3                        |
| 1 380 | 15 + 22 + 15   | 18                  | 11                            | 3                        |
| 1 390 | 18 + 24 + 18   | 14                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 420 | 16 + 24 + 16   | 16                  | 10                            | 2,5                      |
| 1 440 | 17 + 22 + 17   | 16                  | 9,5                           | 3                        |
| 1 520 | 18 + 22 + 18   | 16                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 530 | 16 + 22 + 16   | 18                  | 10                            | 3                        |
| 1 550 | 17 + 24 + 17   | 16                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 570 | 19 + 22 + 19   | 16                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 600 | 18 + 24 + 18   | 16                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 670 | 17 + 22 + 17   | 18                  | 9,5                           | 3                        |
| 1 700 | 18 + 22 + 18   | 18                  | 9,5                           | 2,5                      |
| 1 760 | 19 + 22 + 19   | 18                  | 9,5                           | 2,5                      |

Размещение нагелей производится равномерно на длине 0,4 *l* от оси опоры. В середине балки на длине 0,2 *l* нагели не ставятся.

При необходимости применения нагелей толщиной  $\delta > 10$  мм длина их должна быть равна

$l_n = 4,5\delta$ , а шаг нагелей  $s = \frac{\delta}{10} s_0$ , где  $s_0$  — шаг нагелей, указанный в таблицах. В остальном данные таблиц остаются без изменения.

*Инж. В. Г. ПИСЧИКОВ*

### IX. ДВУТАВРОВЫЕ ГВОЗДЕВЫЕ БАЛКИ С ПЕРЕКРЕСТНОЙ СТЕНКОЙ

#### 1. Общие сведения

Таблица 1

Двухтавровые балки с перекрестной стенкой применяются главным образом в покрытиях с толевой или рубероидной кровлей — плоских или с небольшим уклоном.

Широкому распространению этих балок способствовали следующие достоинства их:

1) возможность изготовления, не требующего сложных инструментов и высокой квалификации исполнителей;

2) малая строительная высота балок;

3) при изготовлении на стройлесе возможность использования для стенок балок отходов досок.

Недостатками балок являются:

1) значительный собственный вес;

2) большой расход металла (в среднем 6—7%) (см. ниже табл. 1).

По очертанию верхнего пояса различаются балки:

1) с параллельными поясами;

2) с наклонным верхним поясом односкатные;

3) с наклонным верхним поясом двускатные.

Отношение высоты *H* балки к пролету в зависимости от величины нагрузки следует принимать для балок с параллельными поясами:

$$\frac{H}{L} = \frac{1}{11} \div \frac{1}{9},$$

для балок с наклонным верхним поясом (односкатных и двускатных):

$$\frac{H}{L} = \frac{1}{10} \div \frac{1}{7,5}.$$

Увеличение отношения  $\frac{H}{L}$  для балок с параллельными поясами подтверждается следующими соображениями:

а) при большой высоте балки получается меньше расход металла,

б) при большем отношении  $\frac{H}{L}$  балка приобретает большую жесткость в вертикальной плоскости, что уменьшает ее прогиб.

Для балок с наклонным верхним поясом (односкатных и двускатных) отношение  $\frac{H}{L}$  определяется, исходя из наименьшей высоты балки на опоре, необходимой для размещения гвоздей в зоне 1<sup>1</sup> при минимальном шаге. Для экономического сравнения указанных трех типов балок приводится табл. 1, содержащая весовые коэффициенты и процент содержания металла по каждому из этих типов<sup>2</sup>.

Сводная таблица показателей

| Типы балок  | Весовые коэффициенты |        |             |        | % содержания металла |        |
|---|----------------------|--------|-------------|--------|----------------------|--------|
|   | общий                |        | для металла |        | от—до                | средн. |
|   | от—до                | средн. | от—до       | средн. |                      |        |
| С параллельными поясами . . . . .                 | 6,1—9,8              | 7,4    | 0,3—0,6     | 0,5    | 3,6—8,5              | 6,0    |
| С верхним наклонным поясом, односкатные . . . . . | 6,3—9,7              | 8,0    | 0,3—0,6     | 0,5    | 4,6—8,0              | 6,3    |
| С верхним наклонным поясом, двускатные . . . . .  | 5,3—8,2              | 6,7    | 0,3—0,6     | 0,5    | 5,4—9,1              | 7,2    |

#### 2. Конструкция и расчет

Двухтавровые балки с перекрестной стенкой состоят из поясов и стенки, усиленной ребрами жесткости, присоединяемыми к стенке гвоздями и болтами (фиг. 12).

##### 1) Пояса

Каждый пояс состоит из двух досок одинакового сечения, соединяемых между собою и с зажатой между ними стенкой гвоздями.

Частота разбивки гвоздей в поясах изменяется по зонам (фиг. 20 и 21): на протяжении каждой зоны шаг гвоздей сохраняется постоянным.

Гвозди в поясах размещаются обычно в шахматном порядке. Шаг гвоздей в зоне 2 берется вдвое больше, чем в зоне 1. Гвозди ставятся с обеих сторон поровну по расчету на сдвигающие усилия. Ввиду того что часть гвоздей неизбежно попадает в щели между досками стенки, число их следует назначать с некоторым избытком против расчетного.

В балках из воздушно-сухой сосны марки, соответствующей классу сооружения, за допускаемое усилие на один двурезный гвоздь вдоль пояса принимается наименьшее из значений, вычисленных по ф-лам (1) — (3): из условия работы гвоздя в поясе (смятие поясной доски):

$$T_{гв} = 2 \cdot 0,7 a_1 d_1 80 = 112 a_1 d_1; \quad (1)$$

из условия изгиба гвоздя:

$$T_{гв} = 2 \cdot 304 a_1^2 d_1^2 = 608 a_1^2 d_1^2; \quad (2)$$

из условия смятия стенки:

$$T_{гв} = a_2 d_1 80 \sqrt{2} \approx 113 a_2 d_1; \quad (3)$$

<sup>1</sup> См. ниже фиг. 20 и 21.

<sup>2</sup> Таблица соответствует балкам, помещенным ниже.

Допускаемые усилия на гвоздь

Таблица 2

| Допускаемое напряжение смятия:<br>[ $\sigma_{с}$ ] <sub>18</sub> = 80 кг/см <sup>2</sup> | $d_1$<br>в мм | $a_n$ <sup>1</sup><br>в мм | $T_{18} = 60^3 d_1^2$<br>в кг | $T_{18} = 113 a_2 d_1$ ( $\alpha = 45^\circ$ ) |               |               |               | $T_{18} = 138 a_2 d_1$ ( $\alpha = 30^\circ$ ) |               |               |               |
|--|---------------|----------------------------|-------------------------------|--|---------------|---------------|---------------|--|---------------|---------------|---------------|
|  |               |                            |                               | $a_2 = 19$ мм                                  | $a_2 = 22$ мм | $a_2 = 25$ мм | $a_2 = 30$ мм | $a_2 = 19$ мм                                  | $a_2 = 22$ мм | $a_2 = 25$ мм | $a_2 = 30$ мм |
|  |               |                            |                               | в кг   | в кг          | в кг          | в кг          | в кг   | в кг          | в кг          | в кг          |
| 3,5  | 19            | 74                         | (75)                          |  |               |               |               | (105)  |               |               |               |
| 4  | 22            | 97                         | 86                            | (99)   |               |               |               | 118  | (136)         |               |               |
| 4,5  | 24            | 123                        | 97                            | 112  | (127)         |               |               | 131  | 152           |               |               |
| 5  | 27            | 152                        | 107                           | 124  | 141           |               |               |  | 167           | (190)         |               |
| 5,5  | 30            | 184                        | 118                           | 137  | 155           | (186)         |               |  |               | 207           | (248)         |
| 6  | 33            | 219                        | 129                           | 149  | 169           | 203           |               |  |               |               |               |

| Допускаемое напряжение смятия:<br>[ $\sigma_{с}$ ] <sub>18</sub> = 0,8-80 кг/см <sup>2</sup> | $d_1$<br>в мм | $a_n$ <sup>1</sup><br>в мм | $T_{24} = 608 d_1^2$<br>в кг | $T_{24} = 102 a_2 d_1$ ( $\alpha = 45^\circ$ ) |               |               |               | $T_{24} = 125 a_2 d_1$ ( $\alpha = 30^\circ$ ) |               |               |               |
|--|---------------|----------------------------|------------------------------|--|---------------|---------------|---------------|--|---------------|---------------|---------------|
|  |               |                            |                              | $a_2 = 19$ мм                                  | $a_2 = 22$ мм | $a_2 = 25$ мм | $a_2 = 30$ мм | $a_2 = 19$ мм                                  | $a_2 = 22$ мм | $a_2 = 25$ мм | $a_2 = 30$ мм |
|  |               |                            |                              | в кг   | в кг          | в кг          | в кг          | в кг   | в кг          | в кг          | в кг          |
| 3,5  | 20            | 74                         | 68                           | (78)   |               |               |               | (83)   |               |               |               |
| 4  | 23            | 97                         | 77                           | 90   | (102)         |               |               | 45   |               |               |               |
| 4,5  | 26            | 123                        | 87                           | 101  | 115           |               |               | 107  | (124)         |               |               |
| 6  | 29            | 152                        | 97                           | 112  | 127           | (153)         |               | 119  | 137           | (156)         |               |
| 5,5  | 31            | 184                        | 107                          | 123  | 140           | 163           |               |  | 151           | 172           | (206)         |
| 6  | 34            | 219                        | 118                          | 133  | 153           | 183           |               |  |               | 187           | (225)         |

<sup>1</sup>  $a_n$  — длина конца гвоздя в поясной доске, необходимая для полного использования гвоздя на изгиб.

где  $d_1$  — диаметр поясных гвоздей;

$a_1$  — толщина поясных досок;

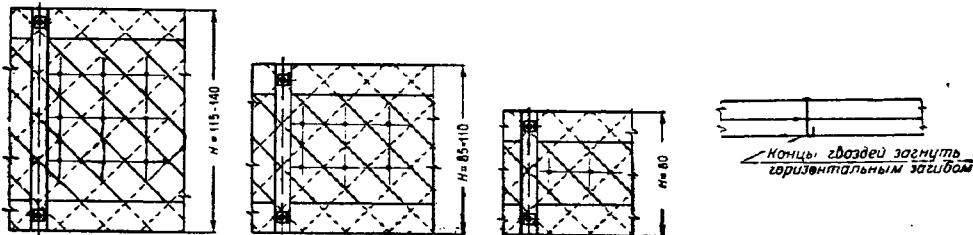
$a_2$  — толщина досок стенки.

Обычно  $a_1 > a_2$ , поэтому, как правило, решающее значение имеют ф-лы (2) и (3).

Величина допускаемого на гвоздь по ф-ле (3) усилия зависит от угла наклона  $\alpha$  решетки к поясу. Чем меньше угол наклона  $\alpha$ , тем больше

В табл. 2 даны допускаемые усилия на гвоздь при различных диаметрах гвоздя, различной толщине досок стенки и различном допускаемом напряжении на смятие дерева.

Там же приведены для сравнения усилия на гвоздь, вычисленные при полном использовании гвоздя на изгиб. При расчете берется наименьшее значение  $T_{18}$ .



Фиг. 1. Разбивка гвоздей в стенке при различных высотах балки

допускаемое усилие на гвоздь. Вообще гвоздь может быть выгодно использован на изгиб только при наклоне досок решетки к поясу под углом  $\alpha \leq 45^\circ$ . В частности при  $\alpha = 30^\circ$  ф-ла (3) принимает вид <sup>1</sup>:

$$T_{18} = a_2 d_1 80 \sqrt{3} = 138 a_2 d_1. \quad (3')$$

При назначении угла  $\alpha = 30^\circ$  получается экономия в гвоздях или в материале стенки. Прямой угол наклона досок стенки необходимо указывать на рабочих чертежах и требовать обязательного его сохранения при изготовлении балки.

<sup>1</sup> Расположение досок решетки под углом в  $30^\circ$  к поясу предложено инж. И. Ф. Плещиным (Ленинградское отделение Прометройпроекта).

## 2) Стенка

Стенка образуется двумя перекрестными слоями тесовых досок шириной не менее 18 см, располагаемых обычно под углом  $45^\circ$  к оси балки. При меньшей ширине досок возрастает число поясных гвоздей, попадающих в щели между досками стенки и в рабочие волокна, близкие к щелям. Между собой доски стенки на участке между поясами соединяются специальными гвоздями, обеспечивающими совместную работу досок стенки при ее вынуждении из плоскости балки. Длина этих гвоздей назначается с таким расчетом, чтобы можно было пробить гвоздем обе доски стенки и загнуть гвоздевой конец горизонтальным изгибом (Фиг. 1). Гвозди вдоль стенки ближе реко-

мендуется забивать не реже чем по 2 шт. на каждую доску зоны 1 и вдвое реже в зоне 2. При ширине доски приблизительно 18 см это определяет шаг забоя вдоль балки в зоне 1 около 12—13 см.

Количество рядов гвоздей поперек стенки зависит от высоты балки: при высоте балки  $H = 80$  см обычно забивается один ряд гвоздей; при  $H = 85 - 110$  см — два ряда гвоздей, при  $H = 115 - 140$  см — три ряда гвоздей и при  $H \geq 145$  см — четыре ряда гвоздей.

### 3) Ребра жесткости

Ребра жесткости ставятся на концах балки (опорные) и по пролету через  $0,1 L$  (промежуточные). Со стенкой и поясами балки опорные ребра связываются гвоздями, болтами и штырями (фиг. 13 и 14), а промежуточные — гвоздями и болтами (фиг. 15 и 16).

Ребра жесткости увеличивают поперечную жесткость стенки балки, распределяют нагрузку между поясами (верхним и нижним) и передают конструкции сосредоточенные усилия от прогонов. Последние укладываются, как правило, над ребрами жесткости. В тех случаях, когда прогоны не могут быть поставлены точно через  $0,1 L$  (например при устройстве фонарей, вентиляционных вытяжек, подвесных путей, при применении плитного утеплителя и т. д.), ребра жесткости смещаются и ставятся под прогонами, но расстояние между ними должно быть близко к  $0,1 L$ .

Ребра жесткости состоят из прокладок и накладок.

Прокладки и накладки опорных ребер делаются обычно из досок того же сортамента, что и пояса; ширина их принимается равной полной ширине поясной доски.

Прокладки опорных ребер прибиваются поясными гвоздями. Обычно разбивка гвоздей в них та же, что и в зоне 1 поясов. В помещенных ниже таблицах балок шаг гвоздей в ребрах принят равным  $20d_1$ . Накладки опорных ребер жесткости этих балок прикрепляются к поясам четырьмя болтами, а к стенке одним болтом и четырьмя штырями. Диаметр  $d_1$  болтов на опорном ребре этих балок принимается (в зависимости от длины пролета балки и величины нагрузки) 12 и 16 мм. Штыри ставятся только в том случае, когда высота прокладки опорного ребра равна или более  $15l_1$ , т. е. необходимо, чтобы:

$$H_0 - 2b_1 \geq 15d_1, \quad (4)$$

где  $H_0$  — высота балки у опоры;  
 $b_1$  — ширина поясной доски;  
 $d_1$  — диаметр штыря.

Диаметр штыря, как правило, равен диаметру болтов на опорном ребре и берется меньше только в тех случаях, когда этого не допускает высота прокладки.

Средний болт, соединяющий накладку, прокладку и стенку, ставится только в том случае, когда высота прокладки опорного ребра равна или более  $10d_1$ , т. е. когда:

$$H_0 - 2b_1 \geq 10d_1, \quad (5)$$

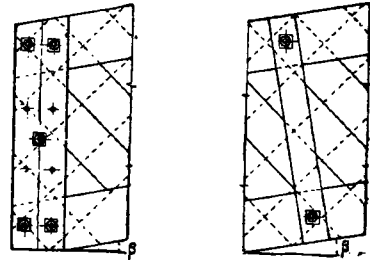
где  $d_1$  — диаметр болта, остальные обозначения те же, что в ф-ле (4).

Прокладки промежуточных ребер жесткости делаются также из того же сортамента, что и поясные доски; ширина их обычно берется

равной половине ширины поясных досок. В помещенных ниже таблицах балок накладки промежуточных ребер делаются из сортамента досок, который применяется для устройства стыковых накладок нижнего пояса. Ширина их также берется равной половине ширины поясных досок.

При больших пролетах у двух-трех промежуточных ребер жесткости рекомендуется выпускать верхние концы накладок выше верхнего пояса, чтобы связать прогоны с этими концами накладок — это увеличивает жесткость верхнего пояса балки.

В двускатных балках следует выпускать верхние концы накладок у среднего ребра — в месте стыка досок верхнего пояса.



Опорное ребро при наклонном расположении балки

Промежуточное ребро при наклонном расположении балки

Фиг. 2

Прокладки промежуточных ребер жесткости прибиваются поясными гвоздями, а накладки — гвоздями стенки.

Разбивка гвоздей в прокладках и накладках промежуточных ребер зависит от ширины поясных досок и показана на отдельном чертеже для всех принятых в таблицах (см. ниже) размеров досок (фиг. 19). Диаметр болтов промежуточных ребер принят для всех этих балок в 12 мм.

Промежуточные ребра жесткости в балках всех трех типов всегда ставятся перпендикулярно к доскам нижнего пояса.

Опорные ребра жесткости в односкатных балках ставятся перпендикулярно к доскам нижнего пояса, а в балках с параллельными поясами — перпендикулярно к поясам в том случае, когда балки устанавливаются горизонтально; если же балки устанавливаются наклонно, то опорные ребра ставятся вертикально (фиг. 2). В этом случае угол между осью опорного ребра и осью пояса равен  $90^\circ - \beta$ , где  $\beta$  — угол наклона поясов.

Во всех случаях необходимо обеспечить устойчивое закрепление опорных ребер против выпучивания из плоскости балок, что может быть сделано по типу, изображенному на фиг. 3.

### 4) Стыки поясов

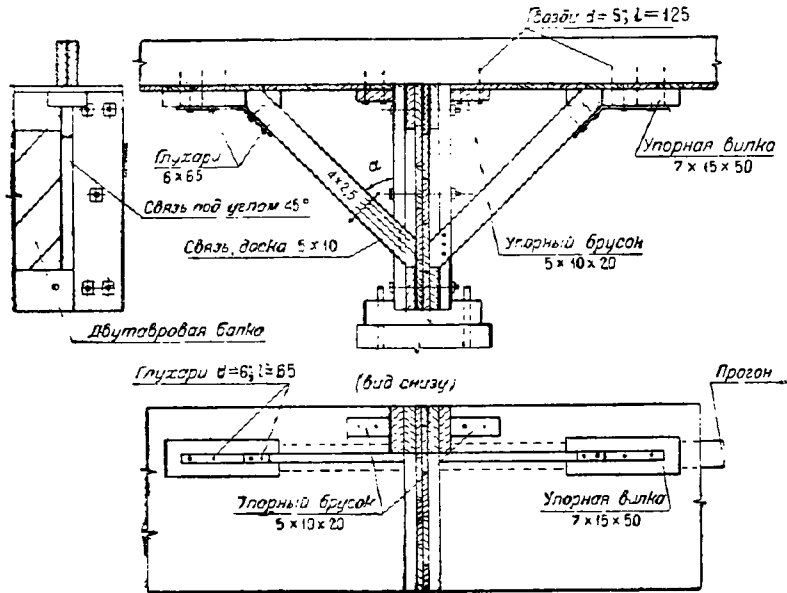
Пояса балок всех типов пролетом более 7 м<sup>1</sup> должны проектироваться со стыками.

#### а) Стыки нижнего пояса

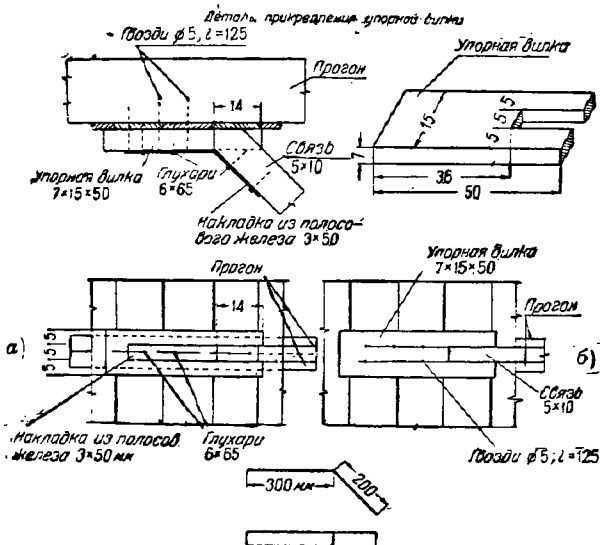
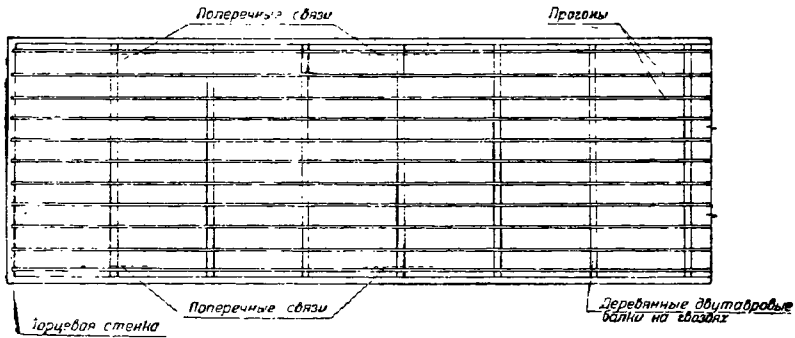
Нижний пояс имеет обычно один стык, который может быть деревянным (с деревянными про-

<sup>1</sup> Балки с пролетом  $L = 7$  м желательно выполнять из цельных досок при наличии таковых на стройке

Поперечные связи



План расположения прогонов и поперечных связей



Примечания: 1. Если торцевые стены не являются несущими, то прогоны опираются на гвоздевую балку, установленную около торцевой стены, а поперечные связи устраиваются в первом пролете и промежуточные — через 2—3 пролета.

2. Поперечные связи устраиваются под углом  $\alpha = 45^\circ$ .

Фиг. 3. а) План, вид сверху, б) накладка из полосового железа сита, в) накладка из полосового железа 3 × 50.

кладками и накладками) или металлическим — с накладками и прокладками из тонкого листового железа.

Достоинствами деревянного стыка являются: 1) меньший (по сравнению с металлическим стыком) расход металла, 2) легкость выполнения; недостатками: 1) необходимость устройства стыка в месте наименьшего усилия в поясных гвоздях, т. е. в середине пролета, 2) некрасивое утолщение пояса в месте стыка.

Достоинствами металлического стыка являются: 1) возможность устройства стыка в любом месте пролета балки, 2) более красивый внешний вид благодаря отсутствию утолщения пояса; недостатками: 1) значительный расход металла, 2) трудность выполнения (пробивка гвоздем металлических полос), 3) опасность ослабления стыка при ржавлении металлических полос.

Сопоставление указанных особенностей обеих конструкций заставляет отдать предпочтение деревянному стыку как вполне надежному и более экономичному.

**Деревянные стыки.** Наиболее употребительный деревянный стык нижнего пояса имеет следующую конструкцию (фиг. 17 и 18). По середине балки на протяжении двух средних панелей между поясными досками укладывается стыковая прокладка, а с наружных сторон в том же месте и на том же протяжении на поясные доски накладываются две стыковые накладки. Весь этот пакет досок соединяется гвоздями или же болтовыми нагельми.

На протяжении стыковой прокладки доски стенки укорачиваются на ширину поясной доски и скрепляются с поясными досками стыковыми брусками, которые прибиваются к стенке двумя рядами горизонтальных гвоздей, а к поясным доскам — одним рядом вертикальных гвоздей каждый.

Накладки среднего ребра жесткости короче нормальных и доходят только до верхней плоскости нижнего пояса; прокладки также меньше нормальных и доходят до верхней плоскости стыковых брусков.

Для придания стыку большей жесткости стыковые накладки стягиваются тремя болтами.

Нижний пояс стыкуется обязательно по середине пролета балки — в этом месте поперечная сила имеет наименьшее значение, что облегчает присоединение поясных досок к стенке балки.

Стык описанного типа удачно выполняется в тех случаях, когда толщина прокладки достаточна для восприятия половины усилия в нижнем поясе.

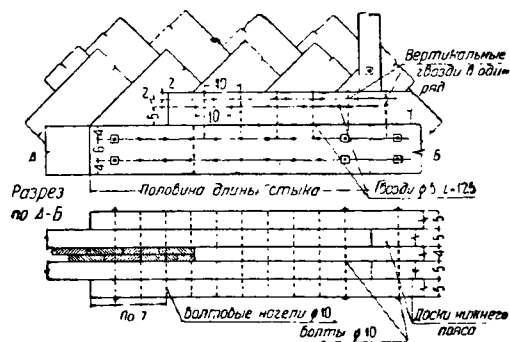
При этом стык решается лучше всего посредством соединения элементов стыка тонкими нагельми из круглой стали. Ввиду того что усилия в стыке распределяются пропорционально мощности нагельных швов, т. е. в данном случае поровну на все четыре шва, прокладка, имеющая 50% всех нагельных срезов, воспринимает половину усилия в поясе и при достаточной ее толщине не может оказаться перенапряженной.

Если элементы стыка соединяются гвоздями, доходящими до середины прокладки и имеющими в прокладке неполноценные срезы, то и здесь прокладка должна воспринять половину поясного усилия. Стыки такого типа применены в балках, данных ниже в таблицах. При изготовлении балок с такими стыками требуется безусловное соблюдение проекта в части толщины применяемых досок и длины стыковых гвоздей. Утол-

щение досок и укорочение гвоздей против проекта могут привести к тому, что прокладка будет в значительной мере недонапряжена, а гвоздевые швы накладок будут перенапряжены. Обратное явление, т. е. утоньшение досок и удлинение гвоздей против проекта, может привести к раскалыванию прокладки встречными гвоздями.

Требовательность этих гвоздевых стыков к качеству их изготовления является существенным недостатком стыков этого типа.

В тех случаях, когда стенка балки тонка и соответствующая толщине стенки прокладка не может воспринять половину усилия в поясе, теоретически представляется возможным осуществление стыков по типу фиг. 17 и 18 в расчете на неполноценность гвоздевых срезов в прокладке и соответствующее этой неполноценности недонапряжение гвоздевых срезов<sup>1</sup>, а с ними вместе и самой прокладки.



Фиг. 4. Стык нижнего пояса с тонкой прокладкой на нагельмах

Однако от осуществления подобных стыков необходимо предостеречь вследствие отмеченной выше чувствительности этих стыков к неточностям изготовления балок. В данном случае применение неполноценных срезов практически может привести к тому, что эти срезы фактически могут оказаться совершенно нерабочими и все усилие нижнего пояса может перейти целиком на одну накладку.

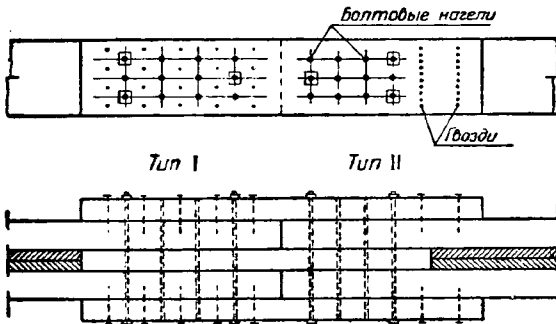
Применение стыка с тонкой прокладкой и нагельными соединениями может быть рационально осуществлено следующим способом<sup>2</sup>. Стыковая прокладка делается короче, чем наружные стыковые накладки (фиг. 4). Длина прокладки назначается с таким расчетом, чтобы приходящееся на нее количество нагелей соответствовало ее сечению. В стыке на фиг. 4 толщина пояса  $2 \cdot 5 = 10$  см, толщина прокладки равна 4 см, что составляет 40% от толщины пояса. При общем числе срезов нагелей на половине длины стыка, равном 64, на долю прокладки приходится 24 среза, причём  $\frac{24}{64} \cdot 100 = 38\% < 40\%$ , т. е. прокладка обеспечена от перенапряжения.

Иначе та же цель может быть достигнута осуществлением стыка по схеме фиг. 5, где болтовые нагели применяются совместно с короткими гвоздями, соединяющими поясные доски только с наружными накладками.

<sup>1</sup> См. § 137 ТУ и Н.

<sup>2</sup> Предложен инж. П. Ф. Плешковым.

Чисто гвоздевой стык при тонких накладках хорошо осуществляется по схеме фиг. 6, где встречные гвозди имеют попеременно разную длину, вследствие чего имеется возможность



Фиг. 5. Стык нижнего пояса с тонкой прокладкой на гвоздях и нагелях

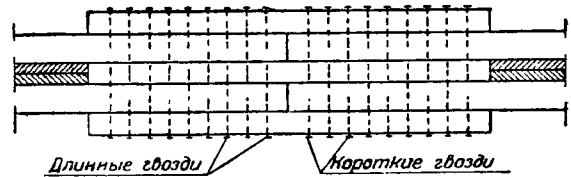
передать на прокладку меньшее усилие. При одинаковом диаметре стыковых гвоздей прокладка воспринимает  $\frac{1}{3}$  от усилия в поясе.

Недостатком этого стыка является возможность неправильного размещения в стыке длинных и

ками *BC*, лежащими в плоскости наружных поясных досок (фиг. 8). Эти последние в свою очередь перекрываются двумя длинными наружными накладками *AD* той же толщины, что и постоянные доски.

Выполнение ступенчатого стыка по фиг. 9 не рекомендуется, так как при такой схеме гвозди на участке *CD* необходимо рассчитывать не по формуле:

$$T = 0,6 \alpha' d [n_c]_{до},$$



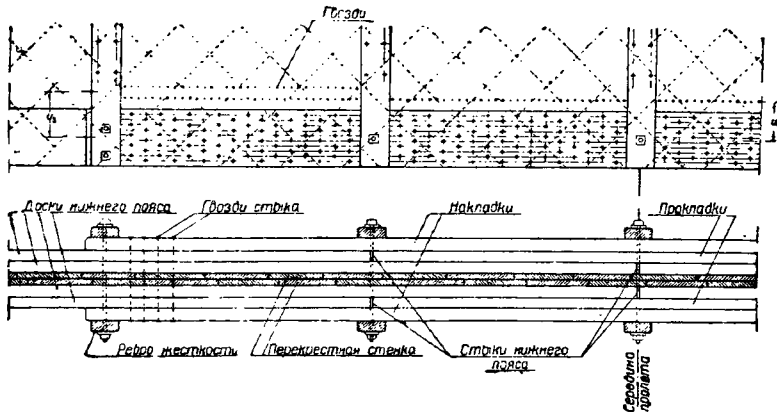
Фиг. 6. Стык нижнего пояса с тонкой прокладкой на гвоздях

а по формуле:

$$T = 0,4 \alpha' d [n_c]_{до},$$

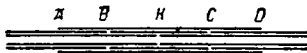
где  $\alpha'$  — толщина одной поясной доски <sup>1</sup>.

Ввиду отсутствия на протяжении ступенчатого

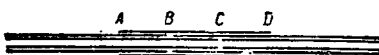


Фиг. 7. Ступенчатый стык нижнего пояса

коротких гвоздей, вследствие чего возможно раскалывание прокладки встречными длинными гвоздями.



Фиг. 8. Схема ступенчатого стыка



Фиг. 9. Нерациональная схема ступенчатого стыка

Равновидностью деревянного стыка является ступенчатый стык (фиг. 7, 8 и 9).

Две внутренние доски перекрываются в середине *K* пролета балки двумя короткими наклад-

стыка связи между двумя слоями досок стенки, таковая должна быть обеспечена специальным гвоздевым забоем в виде одного или двух рядов мелких гвоздей.

Усилие, действующее на единицу длины этого гвоздевого шва, определяется согласно выражению:

$$T = \frac{Q \operatorname{tg} \alpha}{2(e-u)},$$

где  $Q$  — поперечная сила, действующая в данной панели балки;

$e$  — расстояние между центрами тяжести поясов;

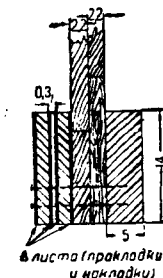
$u$  — расстояние от центра тяжести гвоздевого шва до центра тяжести нижнего пояса балки (фиг. 7);

$\alpha$  — угол наклона досок стенки к направлению нижнего пояса балки.

<sup>1</sup> Усилие с наружной накладкой на участке *CD* передается на внутреннюю поясную доску через наружную поясную доску, играющую при этом роль прокладки несимметричного гвоздевого сопряжения.

Ступенчатый стык дает небольшую толщину стыковых деревянных накладок и может быть рекомендован для применения в мощных балках, имеющих тонкую, экономичную стенку.

Металлический стык. Стык осуществляется на металлических накладках и вкладываемых в специальные пропилы прокладках из тонкого листового железа (толщиной около 1 мм) и скрепляется гвоздями, пробивающими листовое железо (фиг. 10).



Фиг. 10. Разрез стыка на металлических накладках и прокладках

Сечение и длина металлических накладок и прокладок определяются по расчету на растягивающее усилие в поясе. Из условия пробиваемости прокладки гвоздем необходимо, чтобы ее толщина была не более 0,3 диаметра гвоздя:

$$\delta_{ж} \leq 0,3 d_{гв.}$$

При двух листах в прокладке суммарная толщина железа не должна превышать 0,4  $d_{гв.}$

В наружных накладках дыры пробиваются пробойником.

Допускаемое напряжение в металлических листах (с учетом ослабления) принимается: на растяжение — 1 400 кг/см<sup>2</sup>, на смятие — 1 000 кг/см<sup>2</sup> (учитываются рваные края пробиваемых в листах отверстий).

В досках толщиной 5,0 см можно делать не более одного пропила.

При учете ослабления поясной доски толщина пропила принимается равной 3 мм.

Стыки досок нижнего пояса располагаются вразбежку.

Металлический стык вразбежку дает возможность применять в стыке гвозди тех же размеров, что и для поясов, причем на длине стыка гвозди забиваются только с одной стороны.

Допускаемое усилие на один срез гвоздя в металлическом стыке определяется по трем формулам:

по изгибу гвоздя:

$$T_{гв} = 304d_г^2;$$

по смятию древесины:

$$T_{гв} = 0,5\alpha'd_1 80 = 40\alpha'd_1;$$

по смятию металлического листа:

$$T_{гв} = 1\,000 \delta d_1.$$

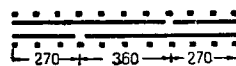
Обычно решающим оказывается последнее выражение.

Пример расчета металлического стыка. Требуется рассчитать металлический стык поясов балки.

Дано: длина балки  $L = 9,0$  м; высота  $H = 75$  см; поясные доски имеют сечение  $b_1 \times a_1 = 14 \times 5$  см; толщина доски стенки  $a_2 = 2,2$  см; нагрузка на балку 687 кг/м. Расчетный пролет  $L_0 = L - b = 9,0 - 0,14 = 8,86$  м. Расчетный изгибающий момент:

$$M_{\max} = \frac{qL_0^2}{8} = \frac{687 \cdot 8,86^2}{8} = 6\,740 \text{ кгм.}$$

Стык конструируем с накладками и прокладками из листового железа на расстоянии



Фиг. 11. Расположение стыков на металлических накладках и прокладках

0,3  $L = 270$  см от опоры (фиг. 11). В этом сечении нормальная сила для одной доски:

$$N = \frac{0,84 M_{\max}}{z \cdot 2} = \frac{0,84 \cdot 674\,000}{61 \cdot 2} = 4\,640 \text{ кг.}$$

Ставим полосовое железо толщиной:

$$\delta = 0,9 \text{ мм.}$$

Полная площадь поперечного сечения накладок и прокладок:

$$4 \cdot 14 \cdot 0,09 = 5,04 \text{ см}^2.$$

Гвозди в стыке и в поясах, имеющие  $l = 125$  мм,  $d = 5$  мм, располагаем в шахматном порядке в пять горизонтальных рядов.

Ослабление накладок и прокладок тремя гвоздями:

$$3 \cdot 1,5^1 \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot 0,09 = 0,81 \text{ см}^2.$$

Рабочая площадь поперечного сечения металлических полос:

$$5,04 - 0,81 = 4,23 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$n = \frac{N}{F} = \frac{4\,640}{4,23} = 1\,100 \text{ кг/см}^2.$$

Допускаемое усилие на один гвоздь из условия смятия металлических полос (в данном случае решающее):

$$T_{гв} = 4 \cdot 0,5 \cdot 0,09 \cdot 1\,000 = 180 \text{ кг.}$$

Необходимое количество гвоздей на половину стыка:

$$m_{гв} = \frac{N}{T_{гв}} = \frac{4\,640}{180} = 25,8.$$

Принимаем  $m = 25$ .

### б) Стыки верхнего пояса

Доски верхнего пояса обычно стыкуются впритык в середине пролета в месте постановки ребра жесткости и продольного прогона.

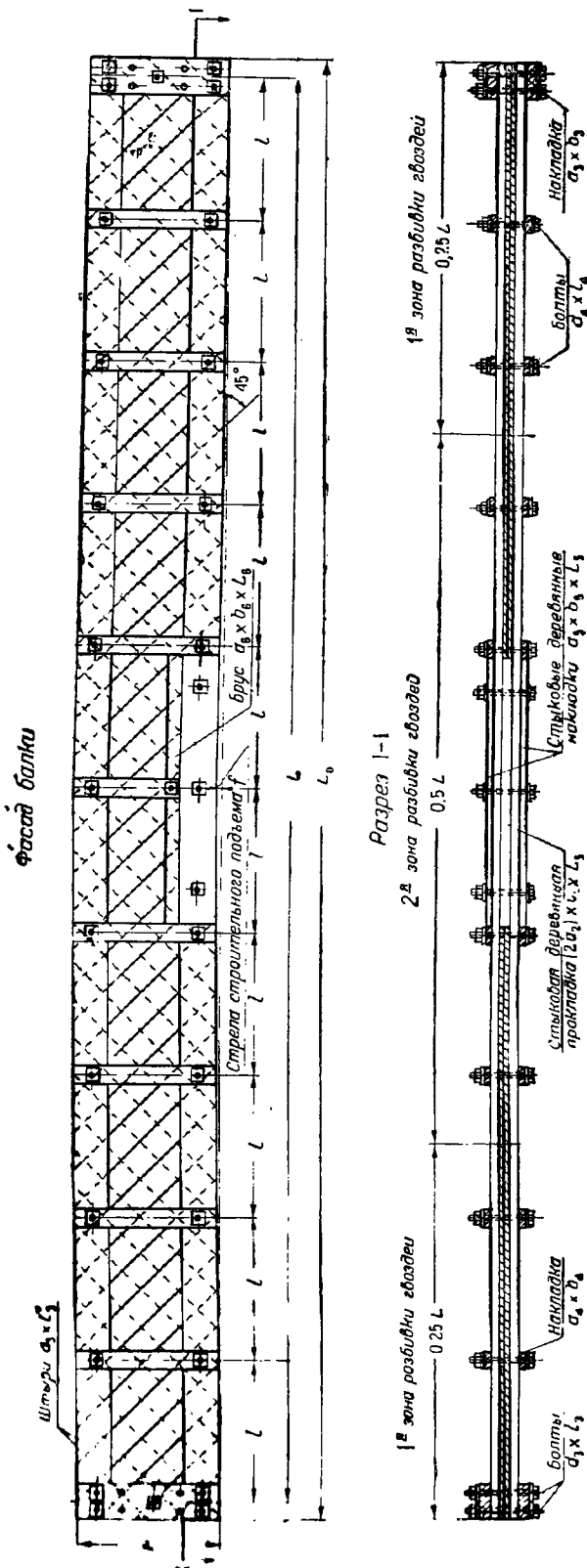
Поясные доски в стыке тщательно приторцовываются, что должно быть отмечено на чертеже надписью «тщательно приторцовать».

### 5) Конструктивный строительный подъем

Балки всех трех типов надлежит выполнять с конструктивным строительным подъемом второго рода, состоящим из двух величин: а) подъема, предусматривающего сдвиг в швах вследствие податливости гвоздевых соединений, и б) подъема за счет упругих деформаций конструкции. Величина стрелы конструктивного строительного подъема для каждой балки определяется согласно

1 Коэффициент 1,5 введен согласно § 177 ТУ и Н.





Фиг. 12. Фасад балки с параллельными поясами

примеру на стр. 235. Конструктивный строительный подъем обозначен и должен выполняться согласно указаниям по сборке двутавровых балок<sup>1</sup>.

### 3. Таблицы двутавровых гвоздевых балок с перекрестной стенкой<sup>2</sup>

#### 1) Принципы составления таблиц

Таблицы охватывают балки трех типов, отличающиеся между собой по характеру очертания верхнего пояса, а именно:

- а) с параллельными поясами;
- б) с наклонным верхним поясом односкатные;
- в) с наклонным верхним поясом двускатные.

Для верхних поясов как односкатных, так и двускатных балок принят уклон в 10%, что соответствует минимальному рекомендуемому уклону рулонных кровель<sup>3</sup>.

Для каждого из указанных трех типов балок таблицы составлены для пролетов от 7,0 до 14,0 м (от 7 до 12 м включительно с интервалом в 0,5 м, а далее с интервалами в 1,0 м).

Для балок с параллельными поясами приняты расчетные нагрузки: для пролетов от 7,0 до 12,0 м включительно от 600 до 1500 кг/м, а для пролетов 13,0 и 14,0 м — от 600 до 1200 кг/м с интервалом в 100 кг (в нагрузки включен собственный вес балки).

Для односкатных и двускатных балок с наклонным верхним поясом для всех пролетов приняты расчетные нагрузки от 600 до 1200 кг/м (включая собственный вес балки) с интервалом в 100 кг/м.

#### 2) Расчет балок

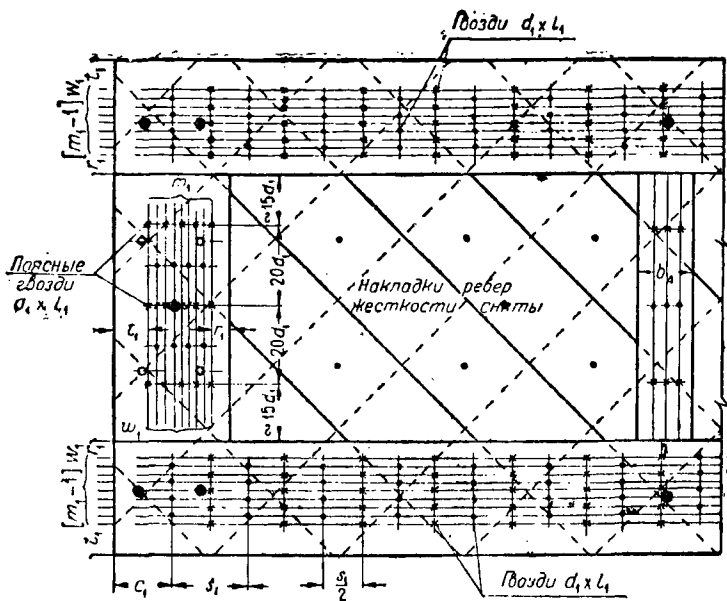
Расчет балок произведен во всем согласно ТУ и Н 1931 г. и «Единым нормам». При расчете приняты допускаемые напряжения, соответствующие полусухой сосне (влажность до 23%) 1-й марки применительно к сооружениям III класса. Рабочее напряжение в досках определялось по верхнему сжатому поясу с учетом продольного изгиба.

Расчет поясных гвоздей произведен без учета влажности древесины. При расчете гвоздей в стыке нижнего пояса (в накладках и прокладках) как более ответственной детали учтена влажность путем введения коэффициента понижения допускаемого напряжения  $\mu = 0,9$ .

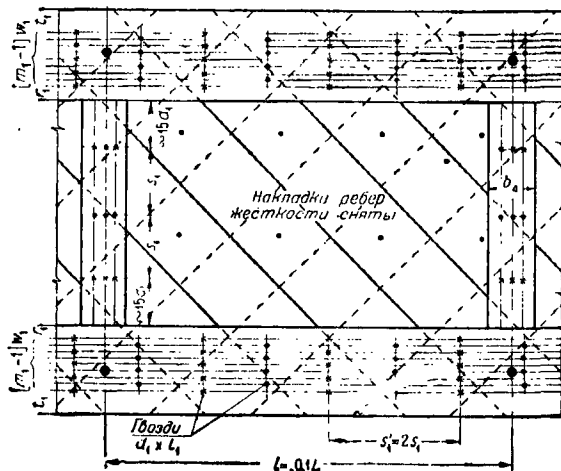
<sup>1</sup> См. «Конструктивный строительный подъем».

<sup>2</sup> По материалам ВСХ РККА.

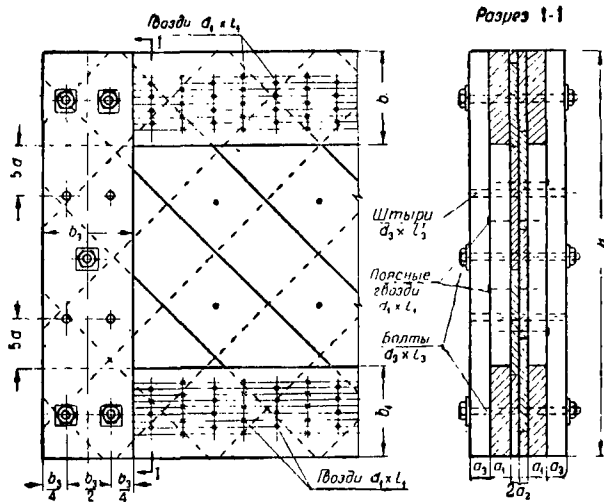
<sup>3</sup> По указаниям Иншорса.



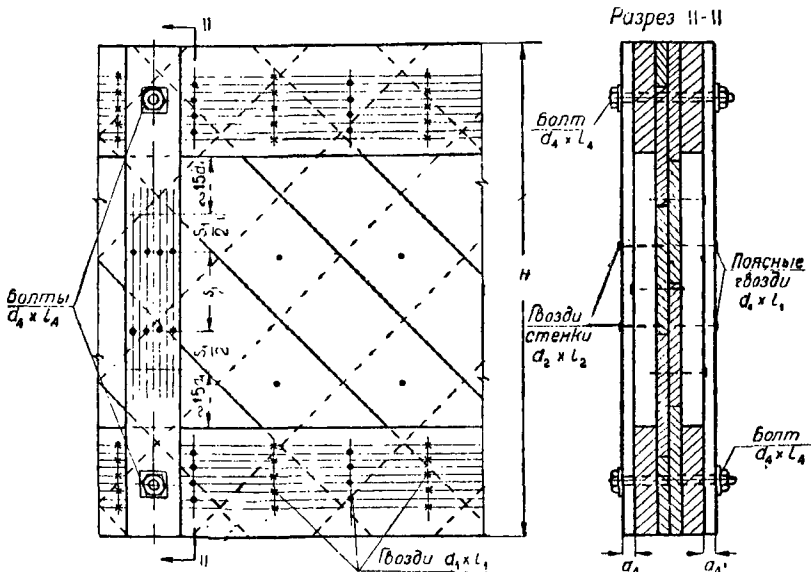
Фиг. 13. Разбивка гвоздей в поясах и прокладках опорных ребер (1-л зона) жесткости



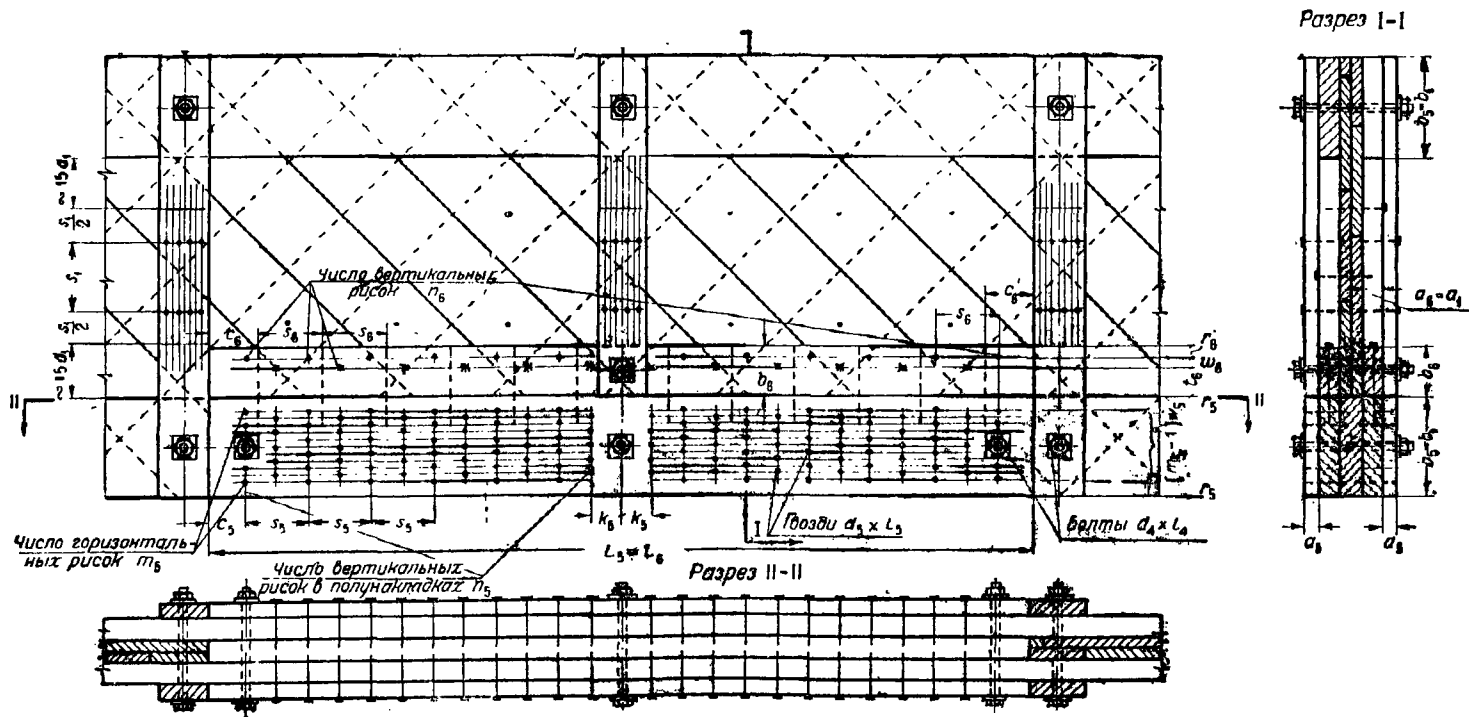
Фиг. 15. Разбивка гвоздей в поясах и прокладках промежуточных ребер жесткости (1-п и 2-п зона)



Фиг. 14. Разбивка болтов и штырей в накладках опорных ребер жесткости



Фиг. 16. Разбивка гвоздей в накладках промежуточных ребер жесткости (1-я и 2-я зона)



Фиг. 17. Стык нижнего пояса при длине стыковых накладок:

$$L_b = 0,2 L - \frac{b_1}{2}$$

При выборе размеров поясных гвоздей учтены результаты исследования экономичности использования гвоздей в зависимости от величины диаметра гвоздя и толщины сплавляемых элементов, установившие, что наиболее экономичными являются гвозди с наименьшим возможным при требуемой длине гвоздя диаметром.

В случае применения лесного материала влажностью большей, чем 23%, или елового леса вместо соснового 1-й марки в соответствии с понижением допустимого напряжения понижается и допустимая нагрузка без изменений в расстановке гвоздей.

В тех случаях, когда балка не может быть подобрана по таблицам (например при заранее обусловленной по каким-либо причинам высоте балки, не совпадающей с высотой, данной в таблице, при наличии значительного сосредоточенного груза, при отсутствии указанного в таблице сортамента леса и т. п.), таковая может быть запроектирована согласно приведенному ниже на стр. 233 типовому расчету балки.

Пример расчета приведен для балки с параллельными поясами. При расчете балки с наклонным верхним поясом (односкатной или двускатной) нужно помнить, что сечение поясов должно быть рассчитано по максимальной нормальной силе:

$$N_{\max} = \frac{M_r}{Z_x}.$$

Сечение балки, где нормальная сила имеет наибольшее значение, отстоит от опоры на расстоянии  $x$ , определяемом по формуле:

$$x = \frac{\sqrt{Z_0^2 - aLZ_0 - Z_0}}{a}, \quad (6)$$

где  $Z_0$  — плечо внутренней пары на опоре<sup>1</sup>;  
 $a$  — величина уклона;  
 $L$  — расчетная длина пролета.

Во всем остальном расчет производится так же, как и для балки с параллельными поясами.

### 3) Пользование таблицами

Все данные, необходимые для составления проекта двутавровой балки, объединены в 8 типовых чертежей (фиг. 12—19) и 26 таблиц (с примечаниями).

Все размеры обозначены на чертежах буквами, численные значения которых в зависимости от типа балки, нагрузки и пролета приведены в таблицах и в примечаниях к ним.

Таблицы построены следующим образом: вначале даются основные размеры всей балки, затем размеры отдельных ее элементов и наконец выборка материалов.

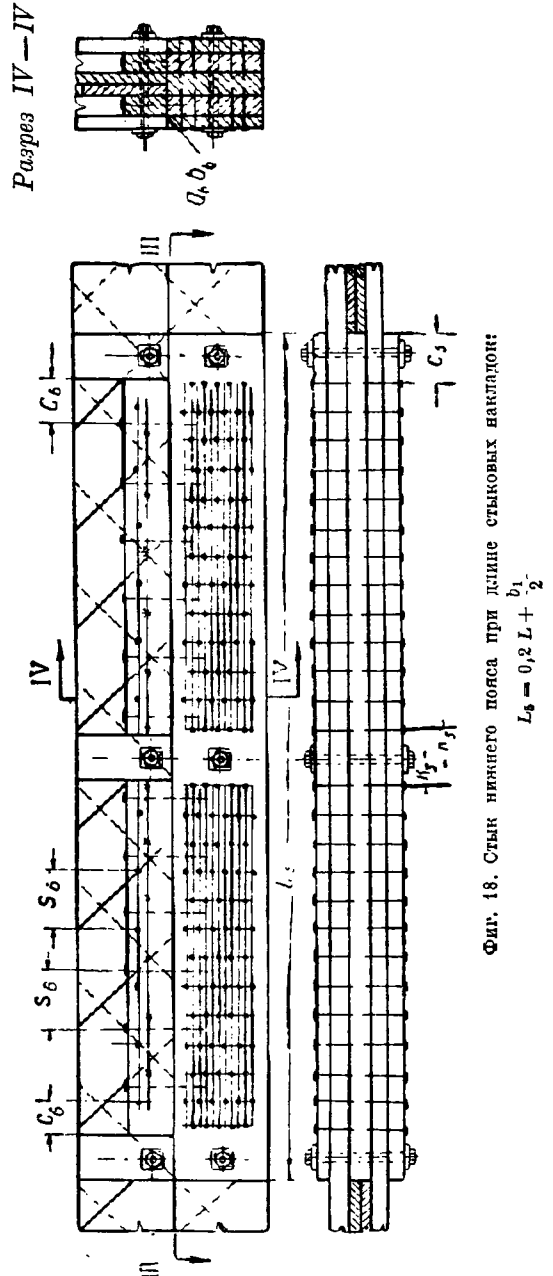
Одинаковые по характеру размеры всех элементов обозначены одними и теми же буквами с различными индексами. Так например, толщина всех элементов обозначена буквой  $a$ : поясов  $a_1$ , стенки  $a_2$  и т. д. Аналогично ширина всех элементов обозначена буквой  $b$ : поясов —  $b_1$ , стенки —  $b_2$  и т. д.

Порядок пользования таблицами и типовыми чертежами поясним примером.

**Пример.** Требуется составить рабочий проект двутавровой двускатной балки расчетным пролетом  $L = 9,9$  м при расстоянии между балками  $B = 5,0$  м.

Нагрузка: постоянная  $g = 120$  кг/м<sup>2</sup>, временная  $p = 103$  кг/м<sup>2</sup>.

Балки предназначены для защищенного сооружения III класса и будут изготовлены из полусухой сосны марки 1.



Фиг. 18. Стык нижнего пояса при длине стыковых нагладок:  
 $L_0 = 0,2L + \frac{b_1}{2}$

По этим данным находим полную нагрузку на 1 пог. м балки (без собственного ее веса):

$$q_0 = (p + g) \cdot B = (120 + 103) \cdot 5,0 = 1115 \text{ кг/м.}$$

Среди таблиц для балок с двускатным верхним поясом выбираем таблицу для пролета, ближайшего (большого) к 9,9 м, т. е. для  $L = 10$  м.

На этой таблице отыскиваем графу, соответствующую полной нагрузке (включая собственный

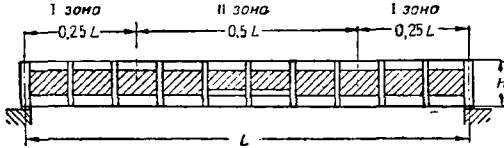
<sup>1</sup> В односкатных балках  $Z_0$  — плечо внутренней пары у опоры малой высоты.



4) Таблицы балок с параллельными поясами

Принятые конструктивные размеры:

1. Полная длина балки  $L_0 = L + b_1$ , где  $b_1$  — ширина поясной доски ( $b_1$  берется из таблиц).
2. Длина панели  $l = 0,1 L$ .
3. Длина первой зоны разбивки гвоздей  $0,25 L$  (фиг. 20).



Фиг. 20. Схема балки с параллельными поясами

4. Длина второй зоны разбивки гвоздей  $0,5 L$ .
5. Элементы балок с параллельными поясами в зависимости от толщины  $a_1$  поясных досок ( $a_1$  берется из таблиц) назначаются согласно следующему

Таблица 3

Размеры элементов, принятые при составлении таблицы

|  |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Толщина поясных досок . . . $a_1$ в см     | 35  | 40  | 45  | 50  | 60  | 70  |
| Толщина досок стенки . . . $a_2$ в см      | 22  | 22  | 25  | 25  | 25  | 30  |
| Толщина стыковых накладок . . . $a_5$ в см | 22  | 25  | 25  | 25  | 35  | 45  |
| Ширина стыковых брусьев . . . $b_6$ в см   | 70  | 75  | 80  | 90  | 90  | 100 |
| Диаметр поясных гвоздей . . . $d_1$ в мм   | 4   | 4   | 4,5 | 5   | 5   | 5,5 |
| Длина поясных гвоздей . . . $l_1$ в мм     | 110 | 110 | 125 | 150 | 150 | 175 |
| Диаметр стыковых гвоздей . . . $d_3$ в мм  | 3,5 | 4   | 4   | 4   | 4,5 | 5   |
| Длина стыковых гвоздей . . . $l_3$ в мм    | 80  | 90  | 100 | 100 | 125 | 150 |

6. Шаг  $s_1'$  полных гвоздей во второй зоне равен удвоенному шагу  $s_1$  поясных гвоздей в первой зоне ( $s_1$  берется из таблиц).

7. Ширина  $b_2$  досок стенки назначается не меньше 18 см.

8. Сечение  $a_3 \times b_3$  накладок и прокладок опорных ребер жесткости принимается равным сечению  $a_1 \times b_1$  поясных досок.

9. Толщина  $a_4$  накладок промежуточных ребер жесткости принимается равной толщине  $a_5$  стыковых накладок нижнего пояса ( $a_5$  берется из табл. 3).

10. Ширина  $b_4$  накладок промежуточных ребер жесткости принимается равной половине ширины  $b_1$  поясных досок.

11. Диаметр  $d_2$  болтов и штырей опорных ребер жесткости принимается равным 12 мм для балок пролетом 7 — 8,5 м и 16 мм для балок пролетом 9 — 14 м.

12. Диаметр  $d_4$  болтов промежуточных ребер жесткости принимается равным 12 мм для всех балок.

13. Размер гвоздей стенки в зависимости от толщины досок стенки назначается согласно следующему:

Таблица 4

Размер гвоздей стенки в зависимости от толщины досок

|                                   |    |    |     |     |
|-----------------------------------|----|----|-----|-----|
| Толщина досок стенки $a_2$ в мм   | 19 | 22 | 25  | 30  |
| Диаметр гвоздей стенки $d_2$ в мм | 3  | 3  | 3,5 | 3,5 |
| Длина гвоздей стенки $l_2$ в мм   | 60 | 70 | 80  | 90  |

14. Вес балок определен при объемном весе древесины 550 кг в  $1 м^3$ .

Таблица 5

Таблицы балок с параллельными поясами

$L = 7,0 м$

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м                       | $q$   | 600                                | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 | 1 300 | 1 400 | 1 500 |
|---|-------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   |       | Полная высота балки в см . . . $H$ | 65    | 65    | 70    | 70    | 70    | 75    | 75    | 80    | 80    |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см . . . $f$ | 4     | 4                                  | 4     | 4     | 4     | 3,5   | 4     | 3,5   | 3,5   | 3     |       |
| Толщина поясных досок в см . . . $a_1$                      | 3,5   | 3,5                                | 3,5   | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4,5   | 4,5   |       |
| Ширина поясных досок в см . . . $b_1$                       | 13    | 16                                 | 19    | 19    | 19    | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    |       |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . . $s_1$                  | 14,5  | 13,5                               | 14    | 12    | 11    | 11,5  | 11    | 11    | 13    | 13,5  |       |
| Число горизонтальных рядов поясов . . . $m_1$               | 6     | 7                                  | 8     | 8     | 8     | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     |       |
| Число горизонтальных рядов накладок . . . $m_5$             | 8     | 9                                  | 10    | *10   | 10    | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    |       |
| Число вертикальных рядов в поясах . . . $n_5$               | 13    | 14                                 | 15    | 14    | 14    | 14    | 14    | 14    | 16    | 16    |       |
| Число вертикальных рядов в стыковом брусье . . . $n_6$      | 18    | 20                                 | 18    | 20    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |       |
| Вес древесины всей балки в кг . . . $G_1$                   | 219   | 248                                | 283   | 309   | 309   | 323   | 352   | 366   | 412   | 426   |       |
| Вес металла всей балки в кг . . . $G_2$                     | 20,34 | 21,83                              | 23,02 | 25,74 | 26,39 | 26,34 | 27,55 | 28,35 | 32,62 | 32,78 |       |

Таблицы балок с параллельными поясами

Таблица 6

L = 7,5 м

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 | 1 300 | 1 400 | 1 500 |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см . . .                          | H              | 70    | 70    | 75    | 75    | 75    | 80    | 85    | 85    | 90    | 95    |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см . . . | f              | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3     |
| Толщина поясных досок в см . . .                        | a <sub>1</sub> | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 4     | 4     | 4     | 4,5   | 4,5   | 4,5   |
| Ширина поясных досок в см . . .                         | b <sub>1</sub> | 16    | 16    | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . . . .                | s <sub>1</sub> | 16,5  | 14    | 14,5  | 14    | 12,5  | 12,5  | 12,5  | 14    | 14    | 14    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .             | m <sub>1</sub> | 7     | 7     | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладки . . . . .           | m <sub>5</sub> | 9     | 9     | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .       | n <sub>5</sub> | 14    | 14    | 15    | 16    | 14    | 14    | 14    | 16    | 16    | 16    |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусе . . . . .     | n <sub>6</sub> | 18    | 20    | 20    | 20    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Вес древесины всей балки в кг                           | G <sub>1</sub> | 277   | 277   | 317   | 342   | 371   | 386   | 398   | 447   | 480   | 475   |
| Вес металла всей балки в кг                             | G <sub>2</sub> | 21,36 | 21,26 | 23,41 | 24,65 | 26,32 | 27,64 | 27,92 | 33,20 | 33,01 | 33,44 |

Таблица 7

L = 8,0 м

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 | 1 300 | 1 400 | 1 500 |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см . . .                          | H              | 75    | 75    | 80    | 80    | 85    | 90    | 90    | 90    | 90    | 90    |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см . . . | f              | 4     | 4     | 4     | 4,5   | 4     | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   |
| Толщина поясных досок в см . . .                        | a <sub>1</sub> | 3,5   | 4     | 3,5   | 3,5   | 4     | 4     | 4     | 4,5   | 5     | 5     |
| Ширина поясных досок в см . . .                         | b <sub>1</sub> | 16    | 16    | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . . . .                | s <sub>1</sub> | 16    | 14,5  | 15    | 14    | 13    | 13    | 12    | 14    | 15,5  | 14    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .             | m <sub>1</sub> | 7     | 7     | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладки . . . . .           | m <sub>5</sub> | 9     | 9     | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .       | n <sub>5</sub> | 14    | 13    | 15    | 16    | 14    | 14    | 14    | 16    | 18    | 18    |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусе . . . . .     | n <sub>6</sub> | 18    | 20    | 20    | 20    | 22    | 22    | 24    | 22    | 22    | 24    |
| Вес древесины всей балки в кг                           | G <sub>1</sub> | 305   | 327   | 348   | 377   | 422   | 437   | 437   | 489   | 516   | 516   |
| Вес металла всей балки в кг                             | G <sub>2</sub> | 21,91 | 23,95 | 24,13 | 33,32 | 28,15 | 28,50 | 29,46 | 34,31 | 38,74 | 40,   |

Таблица 8

L = 8,5 м

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 | 1 300 | 1 400 | 1 500 |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см . . .                          | H              | 80    | 80    | 85    | 85    | 85    | 90    | 90    | 95    | 95    | 100   |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см . . . | f              | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3,5   |
| Толщина поясных досок в см . . .                        | a <sub>1</sub> | 3,5   | 4     | 3,5   | 3,5   | 4     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 5     | 5     |
| Ширина поясных досок в см . . .                         | b <sub>1</sub> | 16    | 16    | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . . . .                | s <sub>1</sub> | 17    | 15    | 15    | 14,5  | 12,5  | 16    | 15    | 14    | 15    | 15    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .             | m <sub>1</sub> | 7     | 7     | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладки . . . . .           | m <sub>5</sub> | 9     | 9     | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .       | n <sub>5</sub> | 14    | 13    | 15    | 16    | 14    | 16    | 16    | 16    | 18    | 18    |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусе . . . . .     | n <sub>6</sub> | 20    | 22    | 22    | 22    | 24    | 20    | 20    | 22    | 22    | 22    |
| Вес древесины всей балки в кг                           | G <sub>1</sub> | 315   | 360   | 384   | 412   | 444   | 506   | 504   | 523   | 601   | 579   |
| Вес металла всей балки в кг                             | G <sub>2</sub> | 22,00 | 24,30 | 24,81 | 26,12 | 28,24 | 31,08 | 34,51 | 35,54 | 40,81 | 41,41 |



Таблица 9

$L = 9.0 \text{ м}$

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                | $q$   | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 | 1 300 | 1 400 | 1 500 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см . . .                          | $H$   | 80    | 80    | 85    | 90    | 90    | 90    | 90    | 95    | 100   | 100   |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см . . . | $f$   | 5     | 5     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Толщина поясных досок в см . . .                        | $a_1$ | 3,5   | 4     | 4     | 4     | 4,5   | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     |
| Ширина поясных досок в см . . .                         | $b_1$ | 19    | 19    | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . . . .                | $s_1$ | 17,5  | 15    | 12,5  | 14,5  | 16,5  | 17    | 15,5  | 15,5  | 15,5  | 14,5  |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .             | $m_1$ | 8     | 8     | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладок . . . . .           | $m_5$ | 10    | 10    | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .       | $n_5$ | 15    | 14    | 14    | 14    | 16    | 18    | 18    | 18    | 18    | 16    |
| Число вертикальных рисок в стыковом бруске . . . . .    | $n_6$ | 20    | 22    | 26    | 22    | 20    | 20    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Вес древесины всей балки в кг                           | $G_1$ | 378   | 414   | 428   | 480   | 539   | 559   | 569   | 576   | 605   | 681   |
| Вес металла всей балки в кг                             | $G_2$ | 26,74 | 29,70 | 32,07 | 31,91 | 37,10 | 42,84 | 44,70 | 45,22 | 45,39 | 50,85 |

Таблица 10

$L = 9.5 \text{ м}$

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                | $q$   | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 | 1 300 | 1 400 | 1 500 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см . . .                          | $H$   | 85    | 85    | 90    | 95    | 95    | 95    | 100   | 105   | 105   | 105   |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см . . . | $f$   | 5     | 5     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Толщина поясных досок в см . . .                        | $a_1$ | 3,5   | 4     | 4     | 4     | 4,5   | 5     | 5     | 5     | 6     | 6     |
| Ширина поясных досок в см . . .                         | $b_1$ | 19    | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . . . .                | $s_1$ | 17,5  | 15    | 15,5  | 15    | 17    | 17,5  | 17    | 17    | 16    | 14,5  |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .             | $m_1$ | 8     | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладок . . . . .           | $m_5$ | 10    | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .       | $n_5$ | 15    | 14    | 14    | 14    | 16    | 18    | 18    | 18    | 16    | 16    |
| Число вертикальных рисок в стыковом бруске . . . . .    | $n_6$ | 20    | 24    | 24    | 24    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 24    |
| Вес древесины всей балки в кг                           | $G_1$ | 418   | 447   | 504   | 519   | 605   | 614   | 634   | 653   | 735   | 735   |
| Вес металла всей балки в кг                             | $G_2$ | 27,51 | 30,53 | 31,68 | 32,21 | 37,65 | 43,51 | 44,67 | 45,17 | 50,02 | 52,25 |

Таблица 11

$L = 10.0 \text{ м}$

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                | $q$   | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 | 1 300 | 1 400 | 1 500 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см . . .                          | $H$   | 90    | 90    | 90    | 95    | 90    | 100   | 105   | 110   | 110   | 110   |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см . . . | $f$   | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 4,5   | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Толщина поясных досок в см . . .                        | $a_1$ | 3,5   | 4     | 4,5   | 4,5   | 5     | 5     | 5     | 5     | 6     | 6     |
| Ширина поясных досок в см . . .                         | $b_1$ | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . . . .                | $s_1$ | 18    | 17,5  | 19    | 18    | 18    | 18    | 17,5  | 17    | 16    | 15    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .             | $m_1$ | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладок . . . . .           | $m_5$ | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .       | $n_5$ | 15    | 14    | 16    | 16    | 18    | 18    | 18    | 18    | 16    | 16    |
| Число вертикальных рисок в стыковом бруске . . . . .    | $n_6$ | 22    | 22    | 20    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 24    | 24    |
| Вес древесины всей балки в кг                           | $G_1$ | 454   | 526   | 582   | 600   | 648   | 662   | 682   | 703   | 786   | 786   |
| Вес металла всей балки в кг                             | $G_2$ | 27,96 | 30,95 | 35,91 | 37,47 | 42,05 | 44,43 | 45,49 | 46,64 | 51,51 | 52,82 |

Таблица 12

L = 10,5 м

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1000  | 1100  | 1200  | 1300  | 1400  | 1500  |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см . . .                          | H              | 95    | 95    | 95    | 100   | 105   | 105   | 105   | 110   | 115   | 125   |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см . . . | f              | 5     | 5     | 5     | 5     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4     | 3,5   |
| Толщина поясных досок в см . . .                        | a <sub>1</sub> | 4     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 5     | 5     | 6     | 6     | 6     | 6     |
| Ширина поясных досок в см . . .                         | b <sub>1</sub> | 19    | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . . . .                | s <sub>1</sub> | 21    | 20    | 19    | 18    | 20    | 18    | 17    | 16,5  | 16    | 16    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .             | m <sub>1</sub> | 8     | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладок . . . . .           | m <sub>5</sub> | 10    | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .       | n <sub>5</sub> | 14    | 15    | 16    | 16    | 18    | 18    | 16    | 16    | 16    | 16    |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусе . . . . .     | n <sub>6</sub> | 20    | 20    | 22    | 22    | 20    | 22    | 24    | 24    | 26    | 26    |
| Вес древесины всей балки в кг . . . . .                 | G <sub>1</sub> | 525   | 587   | 645   | 658   | 712   | 712   | 796   | 824   | 843   | 898   |
| Вес металла всей балки в кг . . . . .                   | G <sub>2</sub> | 28,77 | 34,93 | 37,38 | 38,52 | 43,92 | 46,00 | 50,76 | 51,68 | 52,93 | 54,23 |

Таблица 13

L = 11,0 м

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1000  | 1100  | 1200  | 1300  | 1400  | 1500  |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см . . .                          | H              | 100   | 100   | 105   | 105   | 110   | 115   | 115   | 120   | 125   | 130   |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см . . . | f              | 5     | 5     | 5     | 5     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4     | 4     | 4     |
| Толщина поясных досок в см . . .                        | a <sub>1</sub> | 4     | 4     | 4,5   | 5     | 5     | 5     | 6     | 6     | 6     | 6     |
| Ширина поясных досок в см . . .                         | b <sub>1</sub> | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . . . .                | s <sub>1</sub> | 17,5  | 17,5  | 21    | 21    | 20    | 19    | 18    | 17    | 17    | 16,5  |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .             | m <sub>1</sub> | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладок . . . . .           | m <sub>5</sub> | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .       | n <sub>5</sub> | 14    | 14    | 16    | 16    | 18    | 18    | 16    | 16    | 16    | 16    |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусе . . . . .     | n <sub>6</sub> | 24    | 24    | 20    | 20    | 20    | 22    | 24    | 24    | 24    | 24    |
| Вес древесины всей балки в кг . . . . .                 | G <sub>1</sub> | 565   | 612   | 703   | 733   | 761   | 779   | 870   | 900   | 925   | 944   |
| Вес металла всей балки в кг . . . . .                   | G <sub>2</sub> | 31,06 | 31,90 | 37,27 | 43,50 | 44,89 | 46,50 | 51,27 | 53,09 | 53,63 | 54,90 |

Таблица 14

L = 11,5 м

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1000  | 1100  | 1200  | 1300  | 1400  | 1500  |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см . . .                          | H              | 105   | 105   | 110   | 110   | 115   | 121   | 121   | 128   | 128   | 135   |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см . . . | f              | 5     | 5     | 5     | 5     | 4,5   | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Толщина поясных досок в см . . .                        | a <sub>1</sub> | 4     | 4,5   | 5     | 5     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 7     |
| Ширина поясных досок в см . . .                         | b <sub>1</sub> | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . . . .                | s <sub>1</sub> | 18    | 20    | 24    | 21,5  | 20,5  | 20    | 18,5  | 18    | 16,5  | 22,5  |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .             | m <sub>1</sub> | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладок . . . . .           | m <sub>5</sub> | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .       | n <sub>5</sub> | 14    | 16    | 15    | 18    | 15    | 16    | 16    | 16    | 16    | 17    |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусе . . . . .     | n <sub>6</sub> | 24    | 24    | 18    | 20    | 22    | 22    | 24    | 24    | 26    | 20    |
| Вес древесины всей балки в кг . . . . .                 | G <sub>1</sub> | 601   | 731   | 792   | 792   | 906   | 932   | 932   | 978   | 978   | 1190  |
| Вес металла всей балки в кг . . . . .                   | G <sub>2</sub> | 31,25 | 35,35 | 42,25 | 44,52 | 49,38 | 50,23 | 52,62 | 53,65 | 55,53 | 65,19 |

Таблица 15

$L = 12,0$  м

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                   | $q$   | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 | 1 300 | 1 400 | 1 500 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см. . . . .                          | $H$   | 109   | 109   | 115   | 115   | 120   | 125   | 126   | 133   | 133   | 141   |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см. . . . . | $f$   | 5     | 5     | 5     | 5     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4     | 4     | 4     |
| Толщина поясных досок в см. . . . .                        | $a_1$ | 4,5   | 4,5   | 5     | 5     | 6     | 6     | 6     | 6     | 7     | 7     |
| Ширина поясных досок в см. . . . .                         | $b_1$ | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см. . . . .                    | $s_1$ | 20    | 20    | 24,5  | 22    | 20,5  | 20    | 18    | 18    | 22    | 22    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .                | $m_1$ | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладок . . . . .              | $m_5$ | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .          | $n_5$ | 15    | 16    | 18    | 18    | 16    | 16    | 16    | 16    | 17    | 17    |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусе . . . . .        | $n_6$ | 24    | 24    | 20    | 22    | 22    | 22    | 26    | 26    | 22    | 22    |
| Вес древесины всей балки в кг . . . . .                    | $G_1$ | 725   | 780   | 844   | 844   | 966   | 992   | 992   | 1 040 | 1 235 | 1 262 |
| Вес металла всей балки в кг . . . . .                      | $G_2$ | 37,48 | 38,41 | 42,97 | 45,64 | 50,61 | 51,58 | 54,06 | 54,90 | 66,88 | 67,49 |

Таблица 16

$L = 13,0$  м

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                   | $q$   | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см. . . . .                          | $H$   | 120   | 120   | 125   | 125   | 130   | 130   | 130   |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см. . . . . | $f$   | 5     | 5     | 5     | 5     | 4,5   | 4,5   | 4,5   |
| Толщина поясных досок в см. . . . .                        | $a_1$ | 4     | 5     | 5     | 6     | 6     | 7     | 7     |
| Ширина поясных досок в см. . . . .                         | $b_1$ | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см. . . . .                    | $s_1$ | 22    | 25    | 25    | 24    | 21    | 24    | 23    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .                | $m_1$ | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладок . . . . .              | $m_5$ | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .          | $n_5$ | 14    | 18    | 18    | 16    | 16    | 17    | 17    |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусе . . . . .        | $n_6$ | 24    | 20    | 20    | 22    | 24    | 22    | 22    |
| Вес древесины всей балки в кг . . . . .                    | $G_1$ | 789   | 929   | 934   | 1 060 | 1 085 | 1 288 | 1 288 |
| Вес металла всей балки в кг . . . . .                      | $G_2$ | 31,22 | 42,65 | 44,82 | 47,43 | 52,66 | 63,31 | 64,74 |

Таблица 17

$L = 14,0$  м

| Полная расчетная нагрузка<br>в кг/пог. м                   | $q$   | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки в см. . . . .                          | $H$   | 125   | 125   | 130   | 130   | 135   | 135   | 145   |
| Стрела конструктивного строительного подъема в см. . . . . | $f$   | 5,5   | 5,5   | 5,5   | 5,5   | 5,5   | 5,5   | 5,5   |
| Толщина поясных досок в см. . . . .                        | $a_1$ | 4,5   | 5     | 6     | 6     | 7     | 7     | 7     |
| Ширина поясных досок в см. . . . .                         | $b_1$ | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см. . . . .                    | $s_1$ | 28    | 26    | 24    | 22    | 25    | 24    | 22    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .                | $m_1$ | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Число горизонтальных рисок накладок . . . . .              | $m_5$ | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .          | $n_5$ | 16    | 18    | 16    | 16    | 17    | 17    | 17    |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусе . . . . .        | $n_6$ | 20    | 20    | 22    | 24    | 22    | 22    | 24    |
| Вес древесины всей балки в кг . . . . .                    | $G_1$ | 969   | 1 015 | 1 154 | 1 174 | 1 406 | 1 406 | 1 488 |
| Вес металла всей балки в кг . . . . .                      | $G_2$ | 36,06 | 43,23 | 49,68 | 50,95 | 61,42 | 66,78 | 70,00 |

5) Таблицы балок с двускатным и односкатным верхними поясами

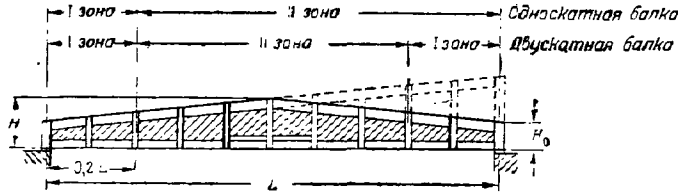
Принятые конструктивные размеры:

1. Полная длина балки  $L_0 = L + b_1$ , где  $b_1$  — ширина поясной доски ( $b_1$  берется из таблиц).
2. Длина панели  $l = 0,1L$ .
3. Длина первой зоны разбивки гвоздей (от пониженной опорной стойки)  $0,2L$  (фиг. 21).

7. Ширина  $b_2$  досок стенки назначается не меньше 18 см.

8. Сечение  $a_3 \times b_3$  накладок и прокладок опорных ребер жесткости принимается равным сечению  $a_1 \times b_1$  поясных досок.

9. Толщина  $a_4$  накладок промежуточных ребер жесткости принимается равной толщине  $a_5$  стыковых накладок нижнего пояса ( $a_5$  берется из табл. 18).



Фиг. 21. Схема балок с наклонным верхним поясом

4. Длина второй зоны разбивки гвоздей  $0,6L$  в двускатных балках и  $0,8L$  в односкатных балках.

5. Элементы балок с двускатным и односкатным верхним поясом в зависимости от толщины  $a_1$  поясных досок ( $a_1$  берется из таблиц) назначаются согласно следующему:

Таблица 18

Размеры элементов балок, принятые в таблицах

|   |     |     |    |     |     |     |     |
|---|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| Толщина поясных досок $a_1$ в см. . . . .     | 30  | 35  | 40 | 45  | 50  | 60  | 70  |
| Толщина стыковых накладок $a_5$ в см. . . . . | 22  | 22  | 25 | 25  | 25  | 35  | 45  |
| Диаметр стыковых гвоздей $d_3$ в мм. . . . .  | 3,5 | 3,5 | 4  | 4   | 4   | 4,5 | 5   |
| Длина стыковых гвоздей $l_3$ в мм. . . . .    | 80  | 80  | 90 | 100 | 100 | 125 | 150 |

6. Шаг  $s_1'$  поясных гвоздей во второй зоне равен удвоенному шагу  $s_1$  поясных гвоздей в первой зоне ( $s_1$  берется из таблиц).

10. Ширина  $b_4$  накладок промежуточных ребер жесткости принимается равной половине ширины  $b_1$  поясных досок.

11. Диаметр  $d_3$  болтов и штырей опорных ребер жесткости принимается равным 12 мм для балок пролетом 7—8,5 м и 16 мм для балок пролетом 9—11 м.

12. Диаметр  $d_4$  болтов промежуточных ребер жесткости принимается равным 12 мм для всех балок.

13. Размер гвоздей стенки в зависимости от толщины досок стенки назначается согласно следующему:

Таблица 19

Размеры гвоздей стенки в зависимости от толщины досок

|  |    |    |     |     |
|--|----|----|-----|-----|
| Толщина досок стенки $a_2$ в см. . . . .   | 19 | 22 | 25  | 30  |
| Диаметр гвоздей стенки $d_2$ в мм. . . . . | 3  | 3  | 3,5 | 3,5 |
| Длина гвоздей стенки $l_2$ в мм. . . . .   | 60 | 70 | 80  | 90  |

14. Вес балок определен при объемном весе древесины  $550 \text{ кг в } 1 \text{ м}^3$ .

Таблицы балок с двускатным и односкатным поясами

Таблица 20

$L = 7,0 \text{ м}$

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог.м                | q     | 600   | 700   | 800   | 900   | 1000  | 1100  | 1200  |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см. . . . .        | $H$   | 80    | 80    | 80    | 90    | 90    | 100   | 100   |
| Полная высота балки на опоре . . . . .              | $H_0$ | 44    | 44    | 44    | 54    | 54    | 64    | 64    |
| Стрела констр. сворит. подъема в см. . . . .        | f     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 2,5   | 2,5   |
| Толщина поясных досок в см. . . . .                 | $a_1$ | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
| Ширина поясных досок в см. . . . .                  | $b_1$ | 13    | 16    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм. . . . .               | $d_1$ | 3,5   | 4     | 4,5   | 4     | 4     | 3,5   | 4     |
| Длина поясных гвоздей в мм. . . . .                 | $l_1$ | 9     | 10    | 11    | 10    | 10    | 9     | 10    |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см. . . . .             | $s_1$ | 7     | 8     | 8,5   | 9     | 8     | 7     | 8,5   |
| Число горизонтальных рисок поясов . . . . .         | $m_1$ | 6     | 7     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     |
| Толщина доски стенки в см. . . . .                  | $a_2$ | 1,9   | 2,2   | 2,5   | 2,2   | 2,2   | 1,9   | 2,2   |
| Число горизонтальных рисок накладок . . . . .       | $m_5$ | 8     | 9     | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . . . .   | $n_5$ | 11    | 12    | 13    | 13    | 13    | 13    | 13    |
| Ширина стыковых брусков в см. . . . .               | $b_6$ | 6     | 7     | 7,5   | 7     | 7     | 6     | 7     |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусе . . . . . | $n_6$ | 36    | 30    | 26    | 28    | 30    | 34    | 30    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . . . .       | $G_1$ | 190   | 228   | 240   | 272   | 274   | 178   | 283   |
| Вес металла двускатной балки в кг . . . . .         | $G_2$ | 18,96 | 22,62 | 26,80 | 24,77 | 26,01 | 24,07 | 26,12 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . . . .      | $G_1$ | 225   | 268   | 315   | 318   | 318   | 314   | 343   |
| Вес металла односкатной балки в кг . . . . .        | $G_2$ | 10,46 | 22,91 | 26,93 | 25,10 | 26,47 | 24,40 | 26,29 |

Таблица 21

L = 7,5 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 85    | 85    | 85    | 90    | 95    | 105   | 105   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 47    | 47    | 47    | 52    | 57    | 67    | 67    |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 2,5   | 2,5   |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 3     | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 16    | 16    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 3,5   | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 90    | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 75    | 85    | 80    | 80    | 80    | 85    | 85    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 7     | 7     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 1,9   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 9     | 9     | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 12    | 14    | 15    | 15    | 15    | 15    | 15    |
| Ширина стыковых брусков в см . . .               | b <sub>6</sub> | 6     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     |
| Число вертикальных рисок в стыковом бруске . . . | n <sub>6</sub> | 36    | 32    | 32    | 32    | 32    | 32    | 32    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 234   | 267   | 294   | 308   | 320   | 346   | 346   |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 20,35 | 24,38 | 26,76 | 28,74 | 29,19 | 29,14 | 29,14 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 276   | 316   | 345   | 353   | 372   | 398   | 398   |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 20,68 | 25,63 | 27,06 | 29,10 | 29,67 | 29,62 | 29,62 |

Таблица 22

L = 8,0 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 90    | 90    | 90    | 100   | 105   | 115   | 115   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 49    | 49    | 49    | 59    | 65    | 74    | 74    |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3     | 3     | 2,5   | 2,5   |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 3     | 3     | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 3,5   | 4     | 4,5   | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 90    | 100   | 125   | 110   | 110   | 110   | 110   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 7,5   | 8,5   | 9     | 8,5   | 9     | 9,5   | 9     |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 1,9   | 2,2   | 2,5   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 13    | 13    | 12    | 15    | 15    | 15    | 15    |
| Ширина стыковых брусков в см . . .               | b <sub>6</sub> | 6     | 7     | 7,5   | 7     | 7     | 7     | 7     |
| Число вертикальных рисок в стыковом бруске . . . | n <sub>6</sub> | 35    | 34    | 30    | 32    | 32    | 32    | 32    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 279   | 299   | 346   | 348   | 361   | 388   | 388   |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 22,24 | 24,88 | 32,51 | 30,52 | 30,39 | 30,63 | 31,78 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 328   | 353   | 405   | 409   | 417   | 446   | 446   |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 22,15 | 25,66 | 33,45 | 29,44 | 29,45 | 29,52 | 30,26 |

Таблица 23

L = 8,5 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 95    | 95    | 95    | 105   | 110   | 115   | 120   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 52    | 52    | 52    | 61    | 67    | 73    | 76    |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 4     | 4     | 3,5   | 3     | 3     | 3     | 3     |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 3     | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 19    | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 3,5   | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 90    | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 7     | 8     | 8     | 9,5   | 9     | 9     | 9,5   |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 8     | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 1,9   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 10    | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 13    | 15    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    |
| Ширина стыковых брусков в см . . .               | b <sub>6</sub> | 6     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     |
| Число вертикальных рисок в стыковом бруске . . . | n <sub>6</sub> | 42    | 33    | 38    | 34    | 34    | 34    | 34    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 304   | 344   | 380   | 407   | 420   | 436   | 451   |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 23,79 | 30,59 | 32,11 | 31,84 | 32,51 | 33,50 | 33,10 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 358   | 411   | 442   | 472   | 476   | 497   | 516   |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 24,28 | 29,43 | 31,11 | 30,92 | 32,17 | 32,62 | 32,19 |

Таблица 24

L = 9,0 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 100   | 100   | 100   | 110   | 115   | 125   | 125   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 54    | 54    | 64    | 64    | 70    | 79    | 79    |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3     | 3     | 3     | 3     |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 3     | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 4     |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 19    | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 3,5   | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 90    | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 7,5   | 8,5   | 8,5   | 9,5   | 8,5   | 10,5  | 9     |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 8     | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 1,9   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 10    | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 13    | 15    | 16    | 16    | 16    | 16    | 14    |
| Ширина стыковых брусьев в см . . .               | b <sub>6</sub> | 6     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7,5   |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусье . . . | n <sub>6</sub> | 42    | 39    | 38    | 34    | 39    | 32    | 36    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 329   | 376   | 408   | 441   | 456   | 487   | 524   |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 26,17 | 31,74 | 33,22 | 33,83 | 36,93 | 34,26 | 38,40 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 389   | 447   | 480   | 510   | 526   | 557   | 596   |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 26,85 | 32,26 | 33,93 | 34,50 | 37,56 | 35,17 | 38,98 |

Таблица 25

L = 9,5 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 105   | 105   | 105   | 120   | 120   | 125   | 135   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 57    | 57    | 57    | 71    | 71    | 77    | 86    |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 3,5   | 4     | 4     | 3     | 3     | 3     | 3     |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 3     | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 4     | 4     | 4     |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 3,5   | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 90    | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 8     | 9,5   | 8     | 10,5  | 9     | 9     | 10,5  |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 1,9   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 13    | 16    | 16    | 16    | 14    | 14    | 14    |
| Ширина стыковых брусьев в см . . .               | b <sub>6</sub> | 6     | 7     | 7     | 7     | 7,5   | 7,5   | 7,5   |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусье . . . | n <sub>6</sub> | 44    | 36    | 42    | 34    | 38    | 38    | 34    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 353   | 439   | 439   | 488   | 524   | 540   | 579   |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 26,22 | 32,48 | 35,57 | 34,46 | 38,54 | 38,10 | 37,12 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 425   | 519   | 519   | 566   | 606   | 624   | 655   |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 27,43 | 33,26 | 36,22 | 32,43 | 38,02 | 38,22 | 37,46 |

Таблица 26

L = 10,0 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 110   | 110   | 110   | 125   | 125   | 135   | 135   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 59    | 59    | 59    | 74    | 74    | 84    | 84    |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 4     | 4     | 4     | 3,5   | 3,5   | 3     | 3     |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 3,5   | 3,5   | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 10,5  | 9,5   | 8,5   | 10,5  | 9     | 9,5   | 8,5   |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 16    | 16    | 14    | 14    | 14    | 14    | 14    |
| Ширина стыковых брусьев в см . . .               | b <sub>6</sub> | 7     | 7     | 7,5   | 7,5   | 7,5   | 7,5   | 7,5   |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусье . . . | n <sub>6</sub> | 34    | 38    | 44    | 36    | 40    | 38    | 42    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 449   | 474   | 508   | 510   | 510   | 520   | 520   |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 31,17 | 34,43 | 38,32 | 38,90 | 39,73 | 39,45 | 42,36 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 521   | 558   | 598   | 644   | 650   | 730   | 730   |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 32,86 | 35,25 | 37,40 | 37,73 | 39,38 | 40,15 | 43,45 |

Таблица 27

L = 10,5 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 115   | 115   | 115   | 130   | 130   | 140   | 140   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 61    | 61    | 61    | 76    | 76    | 86    | 86    |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 4     | 4     | 4     | 3,5   | 3,5   | 3     | 3     |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 3     | 3,5   | 4     | 4     | 4,5   | 4,5   | 4,5   |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 4     | 4     | 4     | 4     | 4,5   | 4,5   | 4,5   |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 100   | 110   | 110   | 110   | 125   | 125   | 125   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 11    | 9     | 8,5   | 10,5  | 11,5  | 12,5  | 11    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,5   | 2,5   | 2,5   |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 14    | 15    | 14    | 14    | 16    | 16    | 15    |
| Ширина стыковых брусьев в см . . .               | b <sub>6</sub> | 7     | 7     | 7,5   | 7,5   | 8     | 8     | 8     |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусье . . . | n <sub>6</sub> | 38    | 42    | 46    | 38    | 34    | 34    | 34    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 475   | 496   | 545   | 600   | 671   | 712   | 712   |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 31,47 | 37,18 | 39,04 | 37,89 | 45,72 | 44,78 | 47,68 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 582   | 600   | 635   | 685   | 778   | 820   | 820   |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 32,99 | 37,92 | 42,56 | 38,74 | 46,73 | 46,02 | 48,87 |

Таблица 28

L = 11,0 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 120   | 120   | 120   | 125   | 135   | 145   | 145   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 64    | 64    | 64    | 70    | 79    | 89    | 89    |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 4     | 4     | 4     | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 3,5   | 4     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 5     |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 4     | 4     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 5     |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 110   | 110   | 125   | 125   | 125   | 125   | 150   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 11    | 9,5   | 10,5  | 10,5  | 11,5  | 12,5  | 13    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 2,2   | 2,2   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 13    | 14    | 16    | 16    | 16    | 16    | 17    |
| Ширина стыковых брусьев в см . . .               | b <sub>6</sub> | 7     | 7,5   | 8     | 8     | 8     | 8     | 9     |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусье . . . | n <sub>6</sub> | 38    | 42    | 38    | 38    | 38    | 38    | 32    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 541   | 583   | 617   | 671   | 714   | 756   | 826   |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 34,46 | 38,56 | 46,54 | 47,17 | 47,52 | 45,95 | 51,87 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 640   | 684   | 767   | 789   | 881   | 872   | 911   |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 35,45 | 39,46 | 44,61 | 49,21 | 47,70 | 47,47 | 55,15 |

Таблица 29

L = 11,5 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 130   | 130   | 130   | 135   | 145   | 155   | 155   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 71    | 71    | 71    | 77    | 86    | 96    | 96    |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 4     | 4     | 4     | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 3,5   | 3,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 5     |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 4     | 4     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 5     |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 110   | 110   | 125   | 125   | 125   | 125   | 150   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 12,5  | 11    | 12,5  | 12    | 12,5  | 13,5  | 14    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 2,2   | 2,2   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    |
| Ширина стыковых брусьев в см . . .               | b <sub>6</sub> | 7     | 7     | 8     | 8     | 8     | 8     | 9     |
| Число вертикальных рисок в стыковом брусье . . . | n <sub>6</sub> | 34    | 38    | 34    | 36    | 34    | 32    | 30    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 608   | 604   | 707   | 735   | 777   | 821   | 861   |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 35,52 | 36,56 | 44,96 | 45,59 | 46,66 | 45,09 | 54,42 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 703   | 703   | 840   | 865   | 906   | 950   | 992   |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 35,48 | 37,58 | 46,44 | 46,12 | 48,11 | 47,35 | 55,71 |

Таблица 30

L = 12,0 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 135   | 135   | 135   | 150   | 150   | 160   | 160   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 74    | 74    | 74    | 89    | 89    | 99    | 99    |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 4     | 4     | 4     | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 3,5   | 4     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 5     |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 4     | 4     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 5     |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 110   | 110   | 125   | 125   | 125   | 125   | 150   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 12,5  | 11    | 12,5  | 13,5  | 12,5  | 12,5  | 14,0  |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 2,2   | 2,2   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 16    | 14    | 16    | 16    | 16    | 16    | 16    |
| Ширина стыковых брусков в см . . .               | b <sub>6</sub> | 7     | 7,5   | 8     | 8     | 8     | 8     | 9     |
| Число вертикальных рисок в стыковом бруске . . . | n <sub>6</sub> | 38    | 40    | 36    | 34    | 36    | 36    | 32    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 830   | 676   | 756   | 824   | 824   | 870   | 911   |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 35,22 | 38,73 | 46,12 | 45,31 | 47,92 | 47,95 | 54,68 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 750   | 795   | 894   | 961   | 961   | 1 008 | 1 052 |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 36,32 | 39,24 | 47,52 | 47,32 | 49,44 | 50,40 | 56,67 |

Таблица 31

L = 13,0 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 130   | 130   | 135   | 140   | 145   | 150   | 155   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 65    | 65    | 70    | 75    | 80    | 85    | 90    |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 4,5   | 5     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4     | 4     |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 5     | 5     | 5     | 6     | 6     | 6     | 7     |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 19    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5,5   |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 150   | 150   | 150   | 150   | 150   | 150   | 175   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 13    | 12    | 11,5  | 11,5  | 11    | 11    | 13    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 8     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 3     |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 17    | 18    | 18    | 16    | 16    | 16    | 17    |
| Ширина стыковых брусков в см . . .               | b <sub>6</sub> | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 10    |
| Число вертикальных рисок в стыковом бруске . . . | n <sub>6</sub> | 38    | 40    | 42    | 42    | 44    | 44    | 38    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 756   | 817   | 841   | 966   | 992   | 1 016 | 1 240 |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 52,25 | 58,10 | 60,37 | 64,45 | 66,85 | 67,76 | 84,94 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 904   | 976   | 1 061 | 1 134 | 1 162 | 1 188 | 1 445 |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 53,58 | 57,77 | 61,58 | 65,77 | 68,30 | 69,16 | 86,35 |

Таблица 32

L = 14,0 м

| Полная расчетная нагрузка в кг/пог. м            | q              | 600   | 700   | 800   | 900   | 1 000 | 1 100 | 1 200 |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Полная высота балки посередине в см . . .        | H              | 140   | 140   | 150   | 155   | 160   | 165   | 170   |
| Полная высота балки на опоре в см . . .          | H <sub>0</sub> | 70    | 70    | 80    | 85    | 90    | 95    | 100   |
| Стрела констр. стропт. подъема в см . . .        | f              | 5     | 5     | 5     | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4     |
| Толщина поясных досок в см . . .                 | a <sub>1</sub> | 5     | 5     | 5     | 6     | 6     | 7     | 7     |
| Ширина поясных досок в см . . .                  | b <sub>1</sub> | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Диаметр поясных гвоздей в мм . . .               | d <sub>1</sub> | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5,5   | 5,5   |
| Длина поясных гвоздей в мм . . .                 | l <sub>1</sub> | 150   | 150   | 150   | 150   | 150   | 175   | 175   |
| Шаг гвоздей в первой зоне в см . . .             | s <sub>1</sub> | 14    | 12,5  | 12,5  | 12,5  | 12    | 14,5  | 15    |
| Число горизонтальных рисок поясов . . .          | m <sub>1</sub> | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| Толщина доски стенки в см . . .                  | a <sub>2</sub> | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 3     | 3     |
| Число горизонтальных рисок накладок . . .        | m <sub>5</sub> | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    |
| Число вертикальных рисок в полунакладке . . .    | n <sub>5</sub> | 18    | 18    | 18    | 16    | 16    | 17    | 17    |
| Ширина стыковых брусков в см . . .               | b <sub>6</sub> | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 10    | 10    |
| Число вертикальных рисок в стыковом бруске . . . | n <sub>6</sub> | 38    | 42    | 42    | 42    | 44    | 36    | 36    |
| Вес древесины двускатной балки в кг . . .        | G <sub>1</sub> | 906   | 912   | 964   | 1 100 | 1 130 | 1 371 | 1 400 |
| Вес металла двускатной балки в кг . . .          | G <sub>2</sub> | 56,30 | 60,22 | 61,35 | 65,74 | 67,77 | 83,72 | 82,90 |
| Вес древесины односкатной балки в кг . . .       | G <sub>1</sub> | 1 037 | 1 093 | 1 145 | 1 292 | 1 319 | 1 604 | 1 634 |
| Вес металла односкатной балки в кг . . .         | G <sub>2</sub> | 57,55 | 59,02 | 62,90 | 66,97 | 69,06 | 85,33 | 84,54 |



#### 4. Типовой расчет балки с параллельными поясами

З а д а н и е. Расчетный пролет балки  $L=10,0$  м. Нагрузка (включая собственный вес балки)  $q = 1400$  кг/м.

Балка предназначена для защищенного сооружения III класса и будет изготовлена из полусухой сосны марки I.

Балка должна быть обеспечена от провисания устройством конструктивного строительного подъема.

##### 1) Определение размеров элементов балки

Размеры сечения поясных досок определяем сначала приближенно с последующей проверкой напряжений.

В основное допускаемое напряжение на сжатие верхнего пояса  $[n_{\perp}] = 100$  кг/см<sup>2</sup> должны быть введены поправка на влажность 0,9 и коэффициент на продольный изгиб, который предварительно можно принять равным 0,9.

Таким образом допускаемое напряжение приближенно получается равным:

$$n_{\perp} = 0,9 \cdot 0,9 [n_{\perp}] = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 100 \approx 80 \text{ кг/см}^2.$$

Принимаем ширину поясной доски равной  $b_1 = 22$  см и высоту балки:

$$H = \frac{L}{9} = \frac{1000}{9} = 110 \text{ см.}$$

Нормальное усилие в середине пролета:

$$N_{\max} = \frac{qL^2}{8(H-b_1)} = \frac{1400 \cdot 10^2}{8 \cdot (1,10 - 0,22)} = 49900 \text{ кг.}$$

Площадь сечения одной доски:

$$\omega = \frac{N_{\max}}{2n_{\perp}} = \frac{49900}{2 \cdot 80} = 124 \text{ см}^2.$$

Принимаем:

$$a_1 \cdot b_1 = 6 \cdot 22 = 132 \text{ см}^2.$$

Для проверки на продольный изгиб определяем коэффициент  $\varphi$  продольного изгиба, считая, что стенка осуществляется из досок толщиной 2,5 см:

$$I_y = \frac{b_1 h^3}{12} - \frac{b_1 h_1^3}{12} = \frac{22 \cdot 178^3}{12} - \frac{22 \cdot 53^3}{12} = 8788 \text{ см}^4;$$

$$F_{\text{брутто}} = 2 \cdot 6 \cdot 22 = 264 \text{ см}^2;$$

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{F_{\text{брутто}}}} = \sqrt{\frac{8778}{264}} = 5,76 \text{ см.}$$

$$\frac{l_y}{r} = \frac{100}{5,76} = 17,4.$$

По рис. 2 § 24 ТУ и Н находим  $\varphi = 0,87$ . Допускаемое напряжение в сжатом поясе:

$$[n_{\perp}] = 0,9 \cdot 0,87 \cdot 100 = 78 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение в середине пролета:

$$n_{\perp} = \frac{N_{\max}}{F} = \frac{49900}{2 \cdot 6 \cdot 22} = 76 \text{ кг/см}^2 < 78 \text{ кг/см}^2.$$

##### 2) Расчет поясных гвоздей

###### а) Зона 1 (крайняя)

Сдвигающая сила у опоры (фиг. 22):

$$T_{\text{оп}} = \frac{q}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1400 \cdot 10}{2 \cdot 0,88} = 7950 \text{ кгм.}$$

Задаемся диаметром гвоздей:

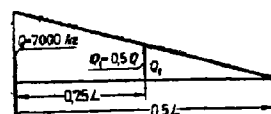
$$d_1 = 0,5 \text{ см.}$$

Минимальная длина гвоздя из условия прочности должна быть:

$$l_1 = a_1 + 2a_2 + 6,15 d_1 + 0,3 = 6 + 5 + 3,1 + 0,3 = 14,4 \text{ см.}$$

(В коэффициент 6,15 входит половина конической части конца гвоздя, а 0,3 см прибавляется на зазоры.)

Длину гвоздя принимаем  $l_1 = 15$  см.



Фиг. 22. Эпюра поперечных сил

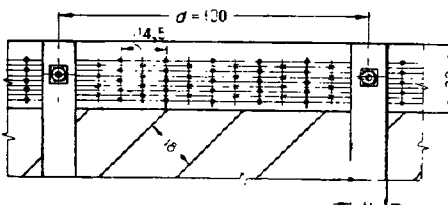
Допускаемое усилие на один гвоздь при толщине досок стенки  $a_2 = 2,5$  см находим в табл. 2 на стр. 212.

$$T_{\text{доп}}' = 127 \text{ кг.}$$

Количество поясных гвоздей на 1 пог. м пояса:

$$m = \frac{T}{T_{\text{доп}}'} = \frac{7950}{127} = 62 \text{ шт.}$$

Приняв число рядов (количество горизонтальных рядов вдоль пояса)  $m_1 = 9$ , получаем шаг гвоздей:



Фиг. 23. Разбивка гвоздей в поясных досках (1-я зона)

$$s_1 = \frac{100 \cdot 9}{62} = 14,5 \text{ см.}$$

Гвозди размещаем в шахматном порядке (фиг. 23).

###### б) Зона 2 (средняя)

Длина зоны 2 принимается равной  $0,5L = 5$  м. Количество гвоздей на 1 пог. м балки в зоне 2 определяется по наибольшей срезающей силе в этой зоне (фиг. 22), которая вдвое меньше срезающей силы в зоне 1.

Число рядов гвоздей в зоне 2 остается то же, что и для зоны 1, изменяется только соответственно шаг гвоздей:

$$s_1' = 2s_1 = 2 \cdot 14,5 = 29 \text{ см.}$$

##### 3) Расчет стыка нижнего пояса

Стык нижнего пояса (фиг. 24 и 25) устраивается по середине балки по типу, описанному выше (стр. 215).



Высота бруска  $b_6$  определяется диаметром и расхождением гвоздей в бруске, а именно:

а) расстояние верхней риски от верхней кромки бруска должно быть не менее  $4d_1 = 4 \cdot 0,5 = 2,0$  см;

б) расстояние между рисками должно быть не менее  $3d_1 = 1,5$  см;

в) расстояние нижней риски от нижней кромки бруска должно быть не менее  $11d_1 = 5,5$  см.

Отсюда высота бруска получается равной:

$$b_6 = 4d_1 + 3d_1 + 11d_1 = 18d_1 = 18 \cdot 0,5 = 9,0 \text{ см.}$$

#### 4) Стык верхнего сжатого пояса

В верхнем сжатом поясе стык устраивается впритык в середине пролета балки.

#### 5) Определение средней ординаты кривой конструктивного строительного подъема

Стрела конструктивного строительного подъема в середине пролета должна быть назначена равной:

$$f_{стп} = f_{упр} + f_{сдв},$$

где  $f_{упр}$  — упругий прогиб;

$f_{сдв}$  — дополнительный прогиб

Величина упругого прогиба определяется следующим образом.

По таблице § 36 ТУ и Н находим значение  $f'_{упр}$

при  $\frac{L}{z} = \frac{1000}{0,88} = 1136,4$

$$\frac{L}{f_{упр}} = \left[ 300 + \frac{100(1136,4 - 112)}{112 - 110} \right] = 332;$$

$$f_{упр} = \frac{L}{332} = \frac{1000}{332} = 3,0 \text{ см.}$$

Таблица § 36 ТУ и Н предусматривает значения для  $\frac{f}{L}$  при полном использовании напряжения  $[n_u] = 110 \text{ кг/см}^2$ . В данном же примере использовано напряжение только до  $76 \text{ кг/см}^2$ , поэтому для получения истинного значения упругого прогиба нужно полученное значение  $f_{упр} = 3,0$  см умножить на отношение  $\frac{76}{110}$ . Тогда получим:

$$f_{упр} = 3,0 \cdot \frac{76}{110} = 2,07 \text{ см.}$$

Величина дополнительного прогиба  $f_{сдв}$  определяется по ТУ и Н § 197 и 198:

$$f_{сдв} = \frac{L\delta}{3z},$$

где  $\delta$  — величина сдвига (ТУ и Н, § 208);

$z$  — плечо внутренней нары;

$L$  — пролет балки.

$$f_{сдв} = \frac{L\delta}{3z} = \frac{1000 \cdot 2 \cdot 0,15}{3 \cdot 88} = 1,14 \text{ см.}$$

Величина полного прогиба:

$$f_{стп} = f_{упр} + f_{сдв} = 2,07 + 1,14 = 3,21 \text{ см.}$$

Практически подъем следует задать не менее:

$$\frac{L}{260} = \frac{1000}{260} = 5 \text{ см.}$$

Инж. В. Г. ПИСЧИКОВ

## Х. ДВУТАВРОВЫЕ БАЛКИ С ФАНЕРНОЙ СТЕНКОЙ

### 1. Общие сведения

Нормальными пределами применения балок с фанерной стенкой являются пролеты от 5 до 12 м при нагрузках от 500 до 1500 кг/м — для балок кровельных покрытий и от 500 до 2500 кг/м — для балок междуэтажных перекрытий.

Широкому применению балок с фанерной стенкой препятствуют: 1) чувствительность их к увлажнению атмосферной влагой, 2) необходимость применения воздушно-сухого леса<sup>1</sup>, 3) дефицитность фанеры, 4) недостаточное знакомство с физико-механическими свойствами фанеры и наконец 5) отсутствие ТУ и Н для расчета фанерных конструкций на прочность и устойчивость.

В связи с развитием сушки древесины и производства баксинговой фанеры и составлением ТУ и Н на расчет фанерных конструкций можно ожидать применения балок с фанерной стенкой в тех областях строительства, где пока применяются двутавровые балки с перекрестной стенкой.

Сравнение двутавровых балок с фанерной и перекрестной стенками выявляет следующие преимущества первых.

1. В большинстве случаев фанерная стенка экономичнее перекрестной. Это объясняется тем, что толщина балки с фанерной стенкой определяется по допускаемому напряжению на срезывание фанеры<sup>2</sup>, составляющему сравнительно большую величину.

Толщина же перекрестной стенки определяется главным образом из возможности размещения поясных гвоздей, причем условное скалывающее напряжение в перекрестной стенке в зависимости от пролета, очертания поясов и главным образом нагрузки составляет обычно от 8 до 25 кг/см<sup>2</sup>. Конструктивная толщина перекрестной стенки превосходит таким образом толщину фанерной стенки соответственно в 1,6 — 5 раз.

Если принять, что стоимость 1 м<sup>3</sup> фанеры примерно втрое выше стоимости 1 м<sup>3</sup> досок стенки и что толщина фанерной стенки на средних участках

<sup>1</sup> При усушке поясных досок из полусухого леса возможно их растрескивание вследствие препятствия усушке со стороны фанеры.

<sup>2</sup> Согласно данным последних работ ПНИПС допускаемое напряжение на срезывание фанеры можно принимать равным 40 кг/см<sup>2</sup> (независимо от направления волоком в шпонах фанеры).

балки уменьшается в соответствии с элюорой поперечных сил, то в зависимости от нагрузки стоймость фанерных стенок составит от 45 до 125% стоймости перекрестных стенок.

Хуже всего перекрестная стенка используется в балках, несущих легкую нагрузку; в таких балках замена перекрестной стенки фанерной дает заметную экономию.

Уменьшение толщины возможно и для перекрестной стенки, но не применяется отчасти вследствие усложнения работы по изготовлению балок, затем вследствие увеличения расхода гвоздей, а также благодаря небольшой обычно толщине стенки, близкой к ее конструктивному минимуму.

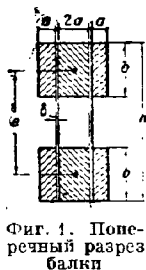
2. Балки с фанерной стенкой при всех нагрузках требуют меньшего расхода гвоздей благодаря тому, что даже легкие балки можно проектировать с двойными фанерными стенками, что приводит к уменьшению длины применяемых гвоздей и к соответственному уменьшению их веса.

3. Наконец известное преимущество представляют меньший вес балок с фанерной стенкой и более привлекательный их вид вследствие наличия гладкой стенки и отсутствия обжимающих пояса ребер жесткости.

## 2. Характеристика конструкции и ее особенности

### 1) Поперечное сечение

Нормальным типом можно считать балку с двумя фанерными стенками (фиг. 1), получающуюся путем спаривания двух двутавровых балок, причем средняя ветвь каждого из поясов получается вдвое толще крайних.

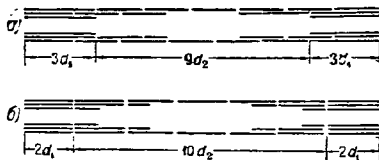


Фиг. 1. Поперечный разрез балки

### 2) Фанерные стенки

В наиболее легких балках (толщина стенки 3—5 мм) стенка может быть выполнена из одного слоя фанеры.

В балках средней мощности (толщина стенки 6—10 мм) на крайних участках пролета, прилегающих к опорам, каждая стенка может быть образована из двух слоев фанеры толщиной по 3—5 мм, на среднем же участке — из одного слоя согласно с очертанием элюоры поперечных сил.



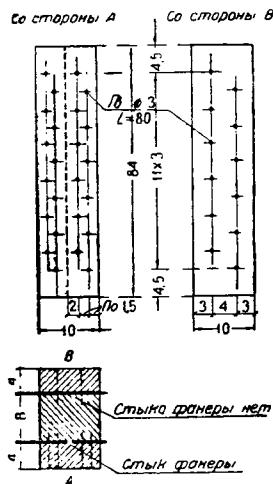
Фиг. 2. Схемы расположения фанеры.  $d_1$  и  $d_2$  — расстояния между ребрами жесткости

В наиболее мощных балках (толщина стенки более 10 мм) каждая из стенок у опор может быть выполнена из трех слоев фанеры толщиной 3 мм и более. В этом случае полупролет балки разбивается на три участка со стенкой из трех, двух и одного слоя фанеры (фиг. 2). Добавляемые слои фанеры обычно врезаются в средние поясные

доски на глубину, равную толщине фанеры. Необходимая выемка в средних поясных досках выбирается либо циркульной или ленточной пилой, либо отеской досок топором с последующей острожкой выемки до необходимой глубины.

### 3) Ребра жесткости

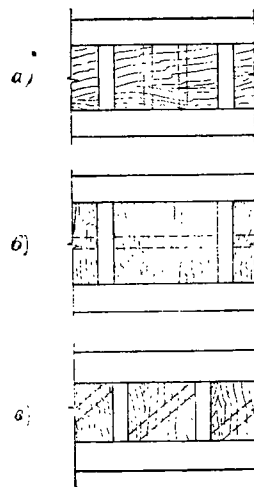
Стыки между смежными листами фанеры перебиваются внутренними и наружными «основными» ребрами жесткости (фиг. 3), плотно обжи-



Фиг. 3. Прикрепление основных ребер жесткости

мающими края фанеры с помощью гвоздевого вабоа.

Кроме основных ребер для укрепления стенки против продольного изгиба ставятся промежуточные ребра, скрытые между двумя фанерными стенками и разделяющие стенку на более мелкие



Фиг. 4. Расположение промежуточных ребер жесткости

участки. Промежуточные ребра могут быть параллельны основным (фиг. 4, а), перпендикулярны к ним (фиг. 4, б) или направлены по диагонали участка (фиг. 4, в). Во всех случаях волокна

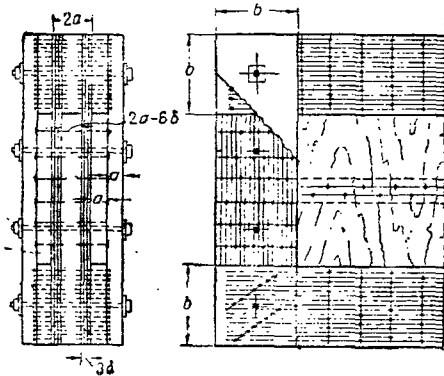
наружных шпонов фанеры должны располагаться по направлению наименьшего измерения между ребрами жесткости.

Распределение основных и промежуточных ребер жесткости по длине балки производится при расчете балки в зависимости от ряда факторов.

Швы фанерной стенки назначаются по одному из следующих двух способов.

По первому способу (фиг. 2, а) фанера размещается таким образом, чтобы в каждом шве стенки из двух и трех листов хотя бы один лист оставался неразрезанным. В стенках из одного листа некоторое перекрытие достигается тем, что в одной и другой стенках швы располагаются «в шахмат».

По второму способу (фиг. 2, б) перекрытие швов не соблюдается, что приводит к более простой симметричной конструкции стенок.



Фиг. 5. Опорные стойки

Теоретически перекрытие швов не дает каких-либо преимуществ; надо полагать, что возможное незначительное увеличение жесткости балок с перекрытыми швами не оправдывает усложнения их изготовления.

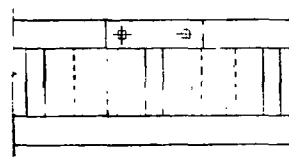
Опорные ребра жесткости (фиг. 5) обычно имеют накладки того же сечения, что и наружные поясные доски. Накладки соединяются с балкой четырьмя-шестью болтами небольшого диаметра. Прокладки опорного ребра плотно приторцовываются к кромкам поясных досок и соединяются со стенкой гвоздевым забоем максимальной густоты. Прокладку, соответствующую средней доске пояса, полезно доводить до опорной подушки, обрезая соответственно средние поясные доски, которые должны при этом доходить только до прокладки.

Такая конструкция лучше обеспечивает прямолинейность фанеры в пределах стойки и надежнее в отношении передачи на подушку опорной реакции балки<sup>1</sup>.

#### 4) Стыки поясов

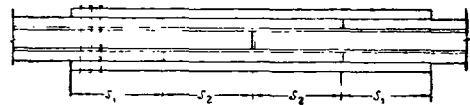
В балках с пролетом большим, чем размеры досок по длине, поясные доски стыкуются. Стык верхнего пояса делается обычно в середине пролета простым торцевым упором всех поясных досок и перекрывается короткими накладками, скрепляемыми с поясными досками двумя болтами небольшого диаметра (фиг. 6).

Стык нижнего пояса делается обычно ступенчатым (фиг. 7). Наружные (длинные) накладки перекрывают наружные поясные доски, внутренние же (короткие) — внутреннюю поясную доску. Стыковые гвозди рассчитываются как одно-



Фиг. 6. Стык верхнего пояса

срезные и размещаются на участках длиной  $s_1$  и  $s_2$ . Стык внутренней поясной доски перекрывается непосредственно, а через фанеру, поэтому если в середине пролета фанера имеет стык, то допустимое усилие на гвоздь на участке  $s_2$



Фиг. 7. Схема стыка нижнего пояса

должно быть снижено, в результате чего участок  $s_2$  получается длиннее участка  $s_1$ , если же фанера размечена согласно фиг. 2, б и в середине пролета стыка не имеет, допустимое усилие на гвоздь не снижается, и участки  $s_1$  и  $s_2$  получаются одинаковой длины.

#### 5) Конструктивный строительный подъем

Во избежание провисания балкам с фанерной стенкой необходимо придавать при изготовлении конструктивный строительный подъем. Наличие развитого стыка в нижнем поясе балок позволяет вызвать в нем путем изгиба по плавной кривой начальные напряжения, компенсирующие те добавочные напряжения от изгиба поясов, которые имеют место при изгибе всей балки в целом вследствие добавочного (против монолитной балки) прогиба ее.

При назначении величины конструктивного строительного подъема нужно иметь в виду, что жесткость балок с фанерной стенкой значительно меньше, чем можно было бы ожидать, полагая стенку вполне монолитной. Испытания балок с фанерными стенками показали, что кроме упругого прогиба балки, определяемого по ее полному моменту инерции, необходимо особо учитывать прогибы: 1) от деформации стыков поясов, 2) от сдвига гвоздевых соединений стенки с поясами и наконец 3) от сдвигающих деформаций в самой фанерной стенке. Последняя составная часть прогиба является одной из наиболее существенных. Имеющиеся экспериментальные данные не дают еще возможности строго обоснованно определять влияние сдвигающих деформаций, однако приближенный учет этого фактора является необходимым. В качестве первого приближения для обеспечения балки от провисания под расчетной нагрузкой можно стрелку строительного подъема назначать по обычной формуле ТУ и П:

$$f_{стр} = \frac{L \sum \delta}{3z_0} + f_{упр} \quad (1)$$

<sup>1</sup> При несоблюдении этого правила фанерная стенка легко искривляется в месте соединения торцов прокладки с кромками досок нижнего пояса.

во величину  $\Sigma \delta$  принимать повышенную против обычных норм для гвоздей, а именно: для балок без стыков поясов принимать  $\frac{\Sigma \delta}{e_0} = \frac{1}{80}$ , а для балок со стыком поясов  $\frac{\Sigma \delta}{e_0} = \frac{1}{60}$ .

### 3. Расчет балок

#### 1) Расчет поясов

Верхний пояс, как и обычно, в двутавровых балках рассчитывается по среднему напряжению, исчисляемому по оси пояса. Этот расчет вполне обоснован, так как в стадии разрушения благодаря пластичности древесины при ее работе на сжатие напряжения по сечению верхнего пояса распределяются достаточно равномерно. В случае разрушения балки от продольного изгиба верхнего пояса при неполном использовании его прочности (что имеет место при редко расположенных прогонах) расчет по среднему напряжению пояса также вполне обоснован ввиду поддержки, оказываемой менее напряженными волокнами пояса более напряженным.

Расчетное напряжение в верхнем поясе определяется по формуле:

$$n = \frac{M}{eF\varphi} = \frac{N}{F\varphi}, \quad (2)$$

где  $M$  — изгибающий балку момент;  
 $e$  — расстояние между осями поясов;  
 $N = \frac{M}{e}$  — расчетное усилие в поясе;  
 $F$  — площадь сечения пояса;  
 $\varphi$  — коэффициент продольного изгиба.

При определении влияния продольного изгиба сечение верхнего пояса нельзя считать монолитным, так как в средних участках пролета балки гвоздевой забой обычно разрежен; но даже при гвоздевом забое предельной возможной частоты монолитность сечения пояса на длине между прогонами все же не была бы достаточно обеспечена. Специальные исследования осуществленных двутавровых балок показали, что связь между досками поясов ничтожна, и потому при расчете пояса на продольный изгиб необходимо исходить из предположения, что поясные доски работают порознь.

В этом случае для поперечного сечения по фиг. 1 расчетный радиус инерции:

$$r = 0,46a. \quad (3)$$

В балках, имеющих стык верхнего пояса, необходимо делать поперку на смятие торцов поясных досок. Согласно ТУ и И 1931 г. допускаемое напряжение для смятия этого вида составляет 80% от допускаемого напряжения на сжатие вдоль волокон. Поперку на смятие можно делать, так же как и на сжатие, по среднему напряжению, не учитывая местных краевых напряжений.

Наибольшие усилия в поясах имеют место в балках с параллельными поясами в середине пролета, в балках же с наклонным верхним поясом в сечении — на расстоянии  $x$  от опоры понижен-

ного конца балки. Для равномерно распределенной нагрузки:

$$x = aL; \quad (4)$$

$$\alpha = \sqrt{\beta(1+\beta)} - \beta; \quad (5)$$

$$\beta = \frac{e_0}{L \operatorname{tg} \varphi}, \quad (6)$$

где  $L$  — пролет балки;

$e_0$  — расстояние между осями поясов на опоре у пониженного конца балки;

$\varphi$  — угол наклона верхнего пояса по отношению к нижнему.

Наибольшие усилия от равномерной нагрузки интенсивности  $q$ : в верхнем поясе:

$$O_{\max} = \gamma \frac{qL}{\sin \varphi}; \quad (7)$$

в нижнем поясе:

$$U_{\max} = \gamma \frac{qL}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad (8)$$

где

$$\gamma = \frac{\alpha \cdot (1-\alpha)}{2 \sqrt{\beta(1+\beta)}}. \quad (9)$$

Коэффициент  $\gamma$  в функции от параметра  $\beta$  может быть найден по графику фиг. 8.

Подбор сечения верхнего пояса начинается с назначения высоты  $h$  балки (фиг. 1) на опорах и в середине пролета и ширины  $b$  поясных досок, затем определяется наибольшее усилие в поясах: для балок с параллельными поясами:

$$N = \frac{qL^2}{8e}, \quad (10)$$

для балок с наклонным верхним поясом — по ф-лам (6), (7), (8) и графику фиг. 8.

Сечение верхнего пояса подбирается по ф-ле (2). Для нижнего пояса сохраняется то же сечение, но проверяется на прочность с учетом ослабления соединением.

При расчете нижнего пояса местные напряжения от изгиба суммируются с основными напряжениями от растяжения: учет влияния местных напряжений необходим и расчет по «среднему» напряжению при отсутствии достаточного конструктивного строительного подъема является недопустимым.

Расчет нижнего пояса с учетом напряжений от изгиба может быть произведен по формуле:

$$n = \frac{U_{\max}}{F_{\text{нетто}}} \cdot \frac{4,8Eb}{L^2} \cdot \frac{f_{\text{разр}}}{k} \cdot \frac{[n_+]}{[n_-]}, \quad (11)$$

где  $U_{\max}$  — наибольшее усилие в поясе [по ф-ле (8)];

$E$  — модуль упругости дерева;

$F_{\text{нетто}}$  — сечение нижнего пояса с учетом ослабления гвоздями и болтами;

$b$  — ширина поясной доски;

$f_{\text{разр}}$  — стрела выгиба балки под разрушающей нагрузкой;

$k$  — коэффициент запаса прочности балки, который можно принять равным 2;

$[n_+]$  и  $[n_-]$  — допускаемые напряжения на растяжение и на изгиб.

Недостаточность экспериментальных данных не позволяет вполне обоснованно назначить величину отношения  $\frac{f_{\text{разр}}}{k}$ .

\* Способы прижима балкам подъема — см. «Конструктивный строительный подъем», стр. 171 и след.

Для первого приближения можно принять:

$$\frac{f_{разр}}{k} = \frac{f_{стр}}{2}, \quad (12)$$

где  $f_{стр}$  — стрела строительного подъема, определяемая по Ф-ле (1).

Если балке не придается строительного подъема, то нужно принять:

$$\frac{f_{разр}}{k} = f_{стр}. \quad (13)$$

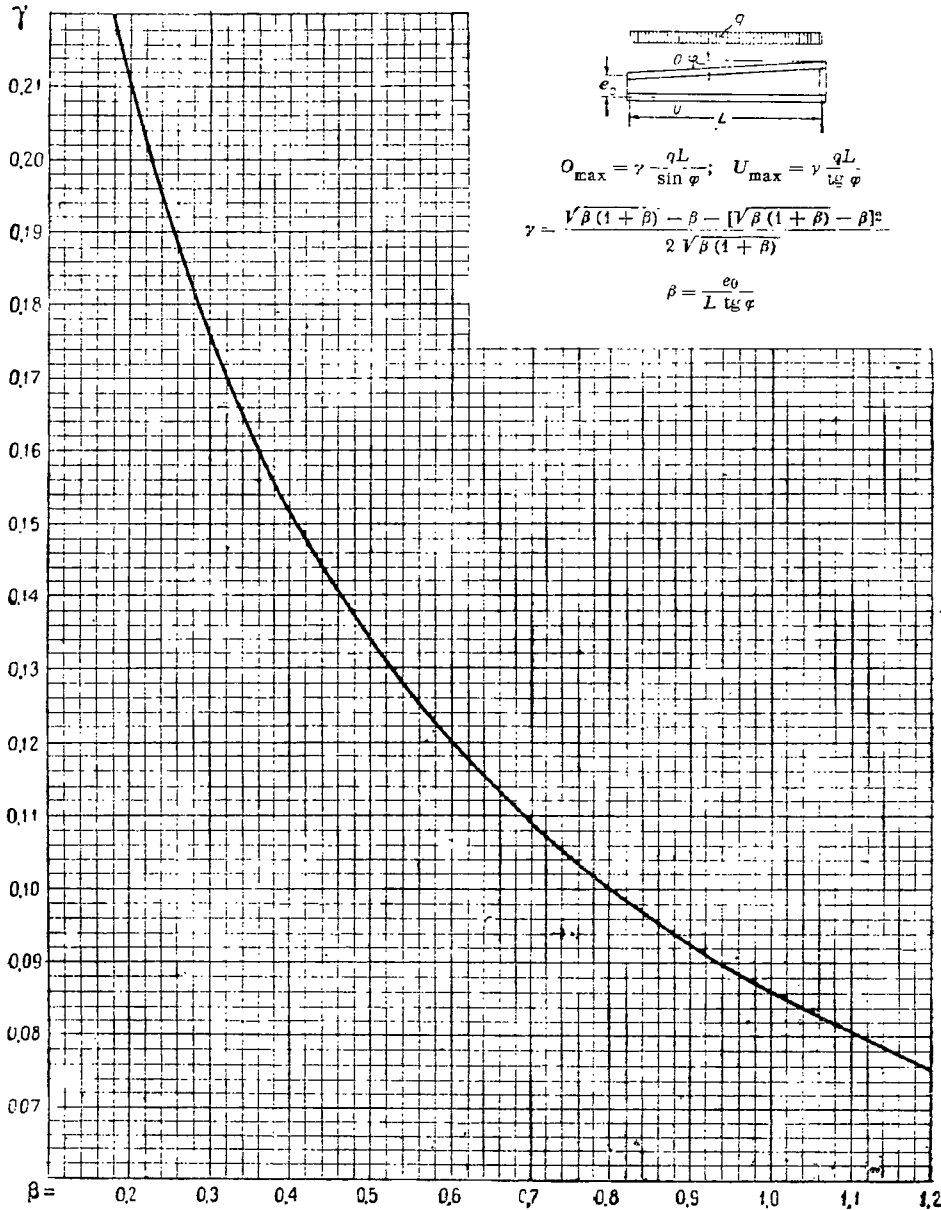
Если исходить из требования, чтобы из про-

гиба двутавровой балки с фанерной стенкой под разрушающей нагрузкой было исключено влияние деформации стенки и соединений, то величину строительного подъема нужно принимать:

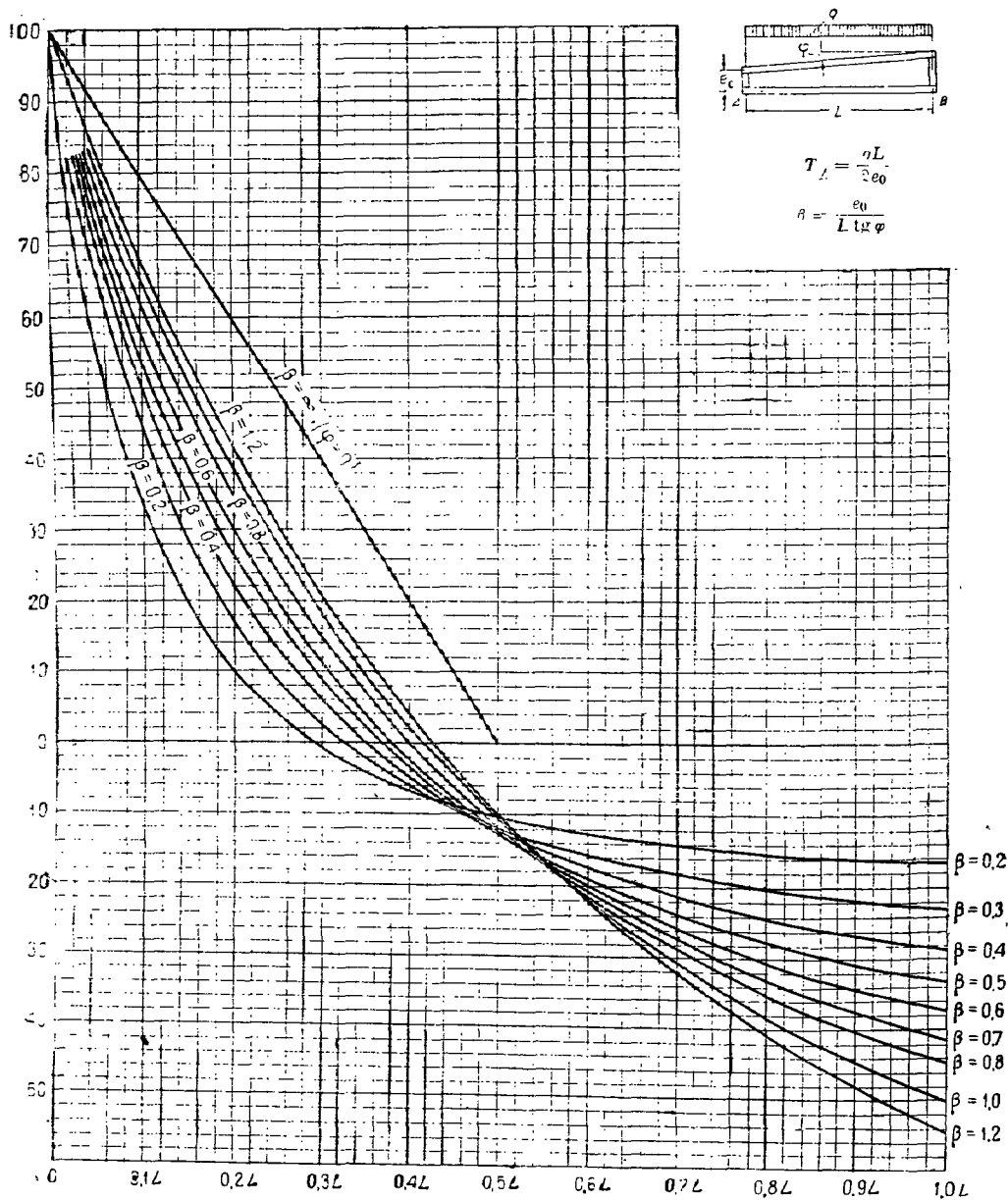
$$f_{стр} = \frac{L \Sigma \delta}{1,5 e_0}, \quad (14)$$

причем в этом случае расчетное напряжение должно исчисляться по формуле:

$$n = \frac{U_{max}}{F_{cm}} \cdot \frac{h}{e} \quad (15)$$



Фиг. 8. График для определения наибольших усилий в поясах балок



Фиг. 9. Графики изменения сдвигающих усилий



Соответствующим увеличением стрелы конструктивного строительного подъема можно добиться горизонтальности нижнего пояса в стадии разрушения балки и совершенно исключить влияние дополнительных напряжений от изгиба нижнего пояса. Необходимая для этого стрела подъема должна быть примерно вдвое больше, чем по ф-ле (1); в соответствии с этим второй член в ф-ле (11) расчетного напряжения должен отпасть.

Все вышеизложенное о расчете нижнего пояса балок без стыка справедливо также и для балок со стыком в том случае, если конструктивный строительный подъем нижнему поясу придается после постановки всех стыковых гвоздей, превращающей нижний пояс в цельную балочку<sup>1</sup>.

### 2) Расчет фанерной стенки

Подбор сечения фанерной стенки начинается с опорных участков балки; необходимая толщина в см каждой из двух стенок может быть определена по формуле:

$$\Delta = \frac{qL}{152e_0}, \quad (16)$$

где  $qL$  — нагрузка на балке в килограммах,  $e_0$  — расстояние между осями поясов в см.

Допускаемое напряжение на срезывание фанеры принято  $40 \text{ кг/см}^2$  и учтено ее ослабление гвоздями в размере 5% от площади сечения.

Приняв толщину  $\Delta$  по ф-ле (16) за 100%, подбирают сечение фанеры из одного, двух или трех листов. Больше число листов дает меньший расход фанеры, однако вследствие меньшей толщины листа приходится чаще ставить ребра жесткости.

Места обрыва листов фанеры могут быть легко назначены с помощью графика фиг. 9, дающего сдвигающую силу в любом сечении балки в процентах от сдвигающей силы  $T_A$  на опоре с пониженной высотой.

При назначении мест обрыва листов фанеры необходимо учитывать размеры листов по стандарту, добиваясь наименьшего количества обрзков.

Кроме прочности необходимо обеспечить устойчивость фанерной стенки достаточным количеством промежуточных ребер жесткости, располагаемых по одной из схем, указанных на фиг. 4.

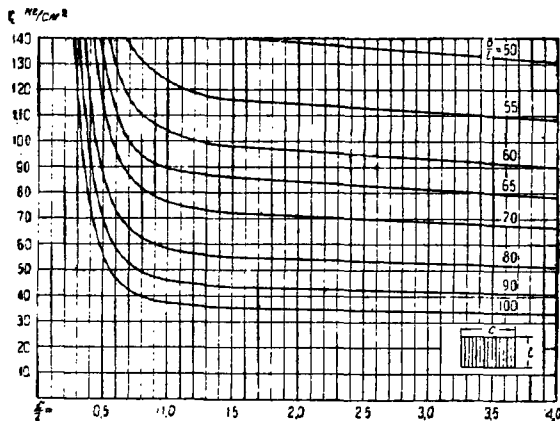
Вопрос об устойчивости фанерной стенки экспериментально изучен еще недостаточно. Однако можно считать установленным, что потеря устойчивости фанерной стенки, сопровождающаяся волнообразным вынуживанием ее, сама по себе еще не вызывает разрушения балки. Балка продолжает работать до предела, обусловленного прочностью стенки на срезывание или прочностью поясов на растяжение-сжатие.

Несмотря на это, потеря устойчивости стенки не должна допускаться: во-первых, из-за некраевого вида волнистой стенки и, во-вторых, из-за несомненного влияния потери устойчивости стенки на жесткость балки.

При назначении расстояния между ребрами жесткости можно пользоваться графиком фиг. 10<sup>2</sup>, построенным для фанеры с модулем упругости

изгиба вдоль волокон  $140\,000 \text{ кг/см}^2$  и поперек волокон —  $11\,700 \text{ кг/см}^2$ . График дает критическое сдвигающее напряжение  $t$  в фанерной стенке при потере ею устойчивости в зависимости от толщины фанеры  $\delta$  и расстояний между ребрами жесткости вдоль волокон наружных шпонов  $l$  и поперек волокон наружных шпонов  $c$ .

График 10 позволяет, задавшись расстояниями  $c$  и  $l$  между ребрами жесткости, определить критическое напряжение при потере устойчивости фанеры. Отношение этого напряжения к фактически допущенному на срезывание определяет коэффициент запаса  $k$ .



Фиг. 10. График для расчета устойчивости фанерных стенок.

Штриховкой обозначено направление волокон в наружных шповах.

Если принять коэффициент запаса устойчивости  $k = 2$  и допускаемое в соответствии с ф-лой (16) напряжение на срезывание фанеры  $1\,095 \cdot 40 = 38 \text{ кг/см}^2$ , то допускаемое критическое напряжение будет равно  $t = 76 \text{ кг/см}^2$ . По графику 10 легко установить, что при обычном соотношении  $\frac{c}{l}$  от 1 до 4 расстояние  $l$  между ребрами должно быть не более (70—65)  $\delta$ .

При наличии толстой (более дефицитной) фанеры следует заменять стенку из двух тонких листов стенкой из одного листа двойной толщины.

### 3) Расчет гвоздей

Расчет поясных гвоздей начинается с определения сдвигающей силы на опоре балки по обычной формуле:

$$T_A = \frac{qL}{2e_0}. \quad (17)$$

Поясные гвозди рассчитываются на изгиб по ТУ и Н и на смятие фанеры при допускаемом напряжении  $160 \text{ кг/см}^2$ .

При расстановке гвоздей вдоль балки рекомендуется число их назначать из условия равнопрочности с фанерной стенкой, вводя более разреженный забой на участках с меньшей толщиной стенки. Поэтому на опорных участках следует назначать интенсивность гвоздевого забоя по сдвигающей силе  $T_A$  на опоре, а на других участках — уменьшать эту силу соответствующим коэффициентом  $\left(\frac{2}{3}, \frac{1}{3} \text{ или } \frac{1}{2}\right)$ .

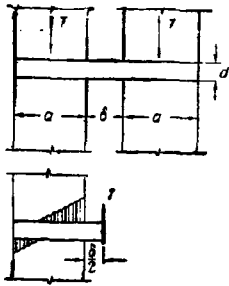
<sup>1</sup> Ослабление гвоздями принято 5%.

<sup>1</sup> См. «Конструктивный строительный подъем», стр. 173.  
<sup>2</sup> График построен на основании теоретического исследования инж. Я. И. Сегерн-Зенькович «К расчету на устойчивость листа фанеры как анизотропной пластинки». Труды Центрального аэрогидродинамического института, вып. 76. Москва, ГТИ, 1931 г.

Обычно на крайних участках балки гвозди рассчитываются на изгиб, а на средних — на смятие фанеры.

Ввиду того что верхний пояс рассчитывается на продольный изгиб без учета гвоздевых соединений, отпадает необходимость в постановке гвоздей из расчета на продольный изгиб.

В стыке нижнего пояса (фиг. 7) гвоздевое соединение на участках  $s_1$  рассчитывается как односрезное несимметричное



Фиг. 11. Схема работы гвоздей в стыке нижнего пояса

обычного типа, передающее усилие с наружных поясных досок на наружные длинные накладки. На участках  $s_2$  передается усилие с внутренних поясных досок на внутренние короткие накладки. Так как здесь усилие передается не непосредственно, а через лист фанеры, то допускаемое на гвоздь усилие должно быть снижено. Отсутствие необходимых экспериментальных данных не позволяет в этом случае назначать допускаемое на гвоздь усилие вполне точно; приближенно же задача может быть решена следующим образом.

Предположим, что две доски соединены гвоздями диаметром  $d$  с зазором шириной  $\delta$  (фиг. 11). Толщину досок  $a$  назначим равной  $6,3 d$ , т. е. минимальную, соответствующую полному использованию допускаемого напряжения на смятие дерева и изгиб гвоздя. Если при этом допустить, что гвоздь абсолютно жесток, то величина краевого напряжения смятия древесины будет равна:

$$n = \frac{T \left( \frac{1}{2} \delta + \frac{2}{3} a \right)}{\frac{d a^2}{6}} \quad (18)$$

Если далее потребовать, чтобы краевое напряжение при наличии зазора  $\delta$  было то же, что и при отсутствии его, то коэффициент  $i$  уменьшения усилия на гвоздь будет равен:

$$i = \frac{\frac{2}{3} a}{\frac{2}{3} a + \frac{1}{2} \delta} = \frac{4a}{4a + 3\delta} = \frac{8,4d}{8,4d + \delta} \quad (19)$$

Обычно толщина  $a$  поясной доски бывает больше  $6,3 d$ . При этом допускаемое усилие на гвоздь будет равно (для основных допускаемых напряжений):

$$T_{is} = i \cdot 304 d^2 = \frac{8,4d}{8,4d + \delta} \cdot 304 d^2 \quad (20)$$

В табл. 1 для употребительных диаметров гвоздей и толщин фанеры даны значения  $T_{is}$ , вычисленные по ф-ле (20) (в кг).

В опорных ребрах жесткости гвозди размещаются с предельной возможной густотой (фиг. 5) без расчета.

В основных ребрах жесткости, перекрывающих стыки фанеры (фиг. 3), размещается по два ряда гвоздей «в шахмат» предельным шагом.

В промежуточных ребрах жесткости, не имеющих наружных накладок (фиг. 4), гвозди ставятся в один ряд «в шахмат» предельным шагом.

Размеры гвоздей в ребрах те же, что и в поясах.

Таблица 1

Значения допускаемого усилия на гвоздь  $T_{is}$

| $d$ в мм \ $\delta$ в мм | 3  | 3,5 | 4  | 4,5 | 5  |
|--------------------------|----|-----|----|-----|----|
| 3                        | 24 | 34  | 45 | 57  | 71 |
| 4                        | 24 | 33  | 44 | 56  | 69 |
| 5                        | 25 | 32  | 42 | 54  | 68 |
| 6                        | 28 | 31  | 41 | 53  | 66 |
| 7                        | 21 | 30  | 40 | 52  | 65 |
| 8                        | 21 | 29  | 39 | 51  | 64 |

4) Пример расчета балки с фанерной стенкой

Требуется рассчитать односкатную балку пролетом  $L = 10$  м и высотой посередине  $h_{cp} = \frac{L}{10} = 1$  м; уклон кровли 1/10, нагрузка 1 000 кг/м, расстояние между прогонами 0,83 м.

Задаемся размерами поясных досок  $a = 3,5$  см,  $b = 20$  см. Параметр  $\beta$  по ф-ле (6):

$$\beta = \frac{e_0}{L \operatorname{tg} \varphi} = \frac{1,0 - 0,1 \cdot 5,0 - 0,2}{10,0 \cdot 0,1} = 0,30.$$

По графику фиг. 3 и ф-ле (7) находим усилие в верхнем поясе:

$$O_{max} = \gamma \frac{qL}{\sin \varphi} = 0,175 \frac{1\,000 \cdot 10}{0,0396} = 17\,600 \text{ кг.}$$

По ф-ле (3) находим радиус инерции сечений верхнего пояса:

$$r = 0,46 \cdot 3,5 = 1,6 \text{ см;}$$

далее:

$$\lambda = \frac{83}{1,6} = 52; \quad \varphi = 0,64.$$

Расчетное напряжение в верхнем поясе:

$$n = \frac{17\,600}{0,64 \cdot 14 \cdot 20} = 98 < 100 \text{ кг/см}^2.$$

Строительный подъем задаем по ф-ле (14):

$$f_{стр} = \frac{L \sum \delta}{1,5 e_0} = \frac{1\,000}{1,5 \cdot 60} = 11 \text{ см.}$$

Напряжение в нижнем поясе проверяем по ф-ле (15). Расстояние от пониженной опорной стойки до сечения пояса с максимальным усилием найдем по ф-лам (4) и (5) или по графику фиг. 9 как нулевую точку эюры сдвигающих сил при  $\beta = 0,3$ , откуда  $x = 0,325L = 3,25$  м.

Далее, по ф-ле (8) имеем:

$$U_{max} = 0,175 \frac{1\,000 \cdot 10}{0,1} = 17\,500 \text{ кг;}$$

$$F_{метто} = 0,9 \cdot 280 = 256 \text{ см}^2;$$

$$h = 0,5 + 3,25 \cdot 0,1 = 0,825 \text{ м;}$$

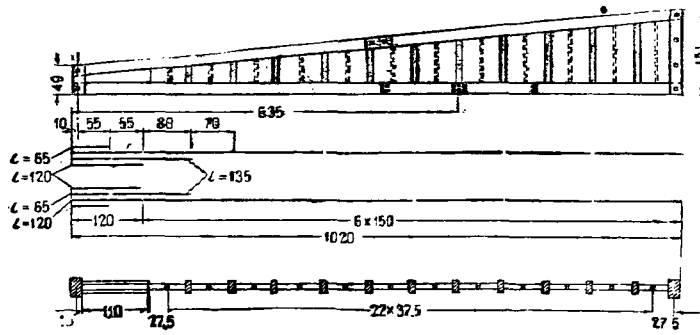
$$e = 0,825 - 0,2 = 0,625 \text{ м.}$$

По ф-ле (15) имеем:

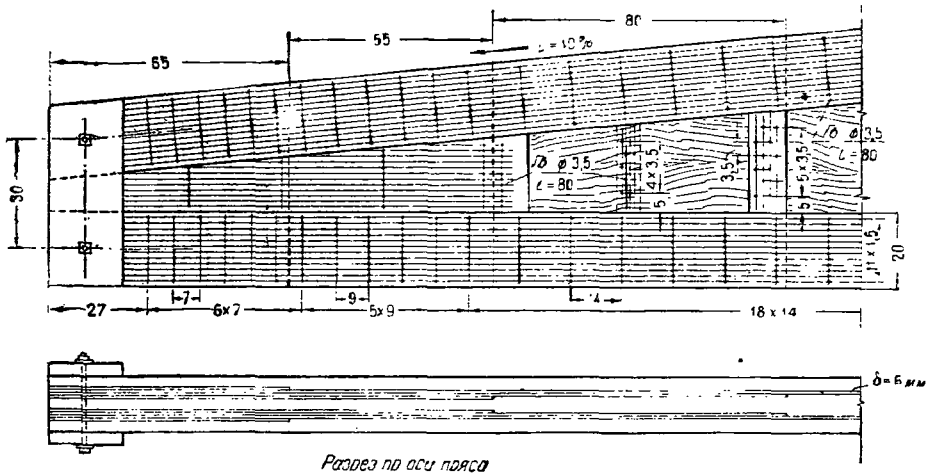
$$n = \frac{U_{max}}{F_{метто}} \cdot \frac{h}{e} = \frac{17\,500}{256} \cdot \frac{0,825}{0,625} = 90 < 100 \text{ кг/см}^2.$$

Необходимую толщину фанерной стенки находим по ф-ле (16):

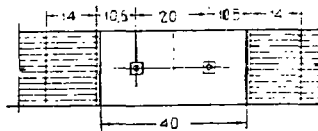
$$\Delta = \frac{1\,000 \cdot 10}{152 \cdot 30} = 2,2 \text{ см.}$$



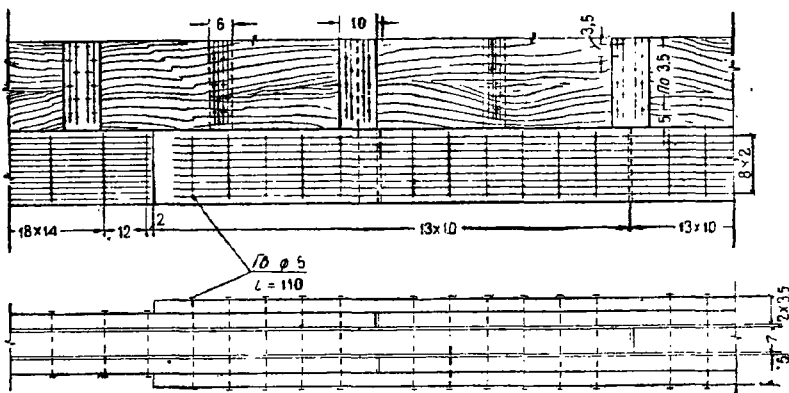
Фиг. 12. Схема балки.



Фиг. 13. Конструкции балки у пониженной опоры.



Фиг. 14. Стык верхнего пояса.



Фиг. 15. Стык нижнего пояса.

Составляем стенку из четырех листов фанеры толщиной по 6 мм, что дает на пониженной опоре запас около 9%. По графику фиг. 9 находим места обрыва листов фанеры мощностью 82%, 55% и 27% от  $\Delta$  на расстояниях 0,025L, 0,075L и 0,16L от пониженной опоры. Назначаем места обрыва на расстояниях 0,6; 1,1 и 1,9 м от оси опоры (фиг. 12). Один лист пропускаем до повышенной опоры, что дает значительные запасы на всей остальной части длины балки.

Стыки листов фанеры идут через 1,5 м (фиг. 12). Основные ребра жесткости располагаем через 75 см, промежуточные — через 37,5 см. При этом отношение  $\frac{\delta}{e} = \frac{6}{375} = \frac{1}{63}$ . Волокна наружных шпонов фанеры располагаем горизонтально (т. е. вдоль нижнего пояса).

Сдвигающую силу на опоре балки на одну стенку найдем по ф-ле (17):

$$T_d = \frac{qL}{4e_0} = \frac{1000 \cdot 10}{4 \cdot 0,3} = 8330 \text{ кг/м.}$$

Гвоздь диаметром 3 мм воспринимает на изгиб  $2 \cdot 27 = 54$  кг. Необходимое число гвоздей на 1 пог. м с одной стороны балки:

$$m_4 = \frac{8330}{54} = 154 \text{ шт.}$$

При двенадцати гвоздях в ряду и шаге 7 см (фиг. 13) получаем:

$$m_4 = 12 \cdot \frac{100}{7} = 171 > 154 \text{ шт.}$$

При трех и двух листах расчет гвоздей производится также на изгиб, причем шаг гвоздей может быть увеличен соответственно до

$$m_3 = \frac{4}{3} \cdot 7 = 9 \text{ см;}$$

$$m_2 = \frac{4}{2} \cdot 7 = 14 \text{ см.}$$

При стенке из одного листа фанеры расчет гвоздей ведем по смятию:

$$T_{сж} = 0,3 \cdot 0,6 \cdot 160 = 29 \text{ кг} < 54 \text{ кг.}$$

Шаг гвоздей:

$$m_1 = \frac{4}{1} \cdot 7 \cdot \frac{29}{54} = 15 \text{ см;}$$

принимаем  $m_1 = 14$  см.

Стык верхнего пояса (фиг. 14) располагаем по середине пролета, стык нижнего — на расстоянии 6,35 м от пониженной опоры (фиг. 12).

Усилие в нижнем поясе в стыке:

$$N = \frac{1000 \cdot 6,35 \cdot 3,65}{2(0,3 + 0,1 \cdot 6,35)} = 12400 \text{ кг.}$$

Необходимое число гвоздей  $d = 5$  мм на участке  $s_1$  (фиг. 7):

$$m' = \frac{12400}{4 \cdot 76} = 41 \text{ шт.};$$

ставим 5 рядов по 9 шт. в ряду (фиг. 15).

Необходимое число гвоздей  $d = 5$  мм на участке  $s_2$ :

$$m'' = \frac{12400}{4 \cdot 66} = 47 \text{ шт.}$$

Ставим 6 рядов по 9 шт. в ряду.

Инж. В. Г. ПИСЧИКОВ

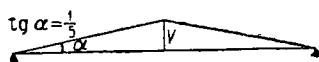
## XI. БАЛОЧНЫЕ ФЕРМЫ

### 1. Треугольные фермы с местной нагрузкой поясов

#### 1) Тавровые балки

##### а) Конструкция

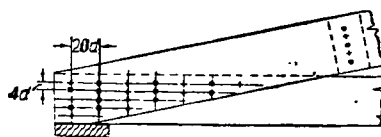
Тавровая балка<sup>1</sup> в конструктивном отношении представляет собою треугольную двускатную дощатую ферму с двумя панелями верхнего пояса (фиг. 1) и нагрузкой, расположенной



Фиг. 1. Схема тавровой балки.

непосредственно по поясам. Пояса фермы рассчитываются на совместное действие изгиба и сжатия. Верхний пояс всегда состоит из двух досок, нижний — из одной доски. Зазор между досками верхнего пояса принимается равным толщине доски нижнего пояса; это дает возможность

непосредственно соединять оба пояса. Кроме того благодаря такому сочетанию удается запроектировать простой и экономичный опорный узел на гвоздях (фиг. 2). Пологий угол пересечения поясов облегчает размещение необходимого количества гвоздевых срезов, а сравнительно небольшая толщина пакета досок позволяет пробивать весь пакет каждым из гвоздей.



Фиг. 2. Опорный узел балки (к фиг. 1)

Стык нижнего пояса конструируется тоже на гвоздях аналогично опорному узлу (фиг. 3). Опорный узел и стык нижнего пояса могут быть запроектированы и на зубчато-кольцевых шпонках<sup>1</sup>.

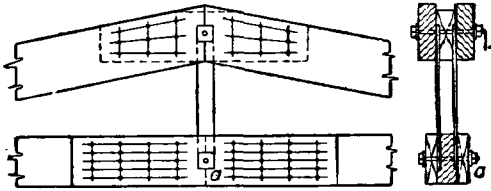
Для ферм без стыка нижнего пояса при отсутствии на этом поясе нагрузки (кроме собственного веса гояса) подвески  $V$  в середине фермы (фиг. 1) можно не ставить.

<sup>1</sup> В проекте «стандарта» даются все необходимые для этого элементы.

<sup>1</sup> Тавровые балки разработаны сектором деревянных конструкций ЦНИИПС. Институтом норм и стандартов строительной промышленности издан проект стандарта «Деревянные тавровые балки на гвоздях и зубчато-кольцевых шпонках» (изд. «Техника управления», Москва 1931 г.), содержащий готовые конструкции балок пролетом от 5 до 10 м (через 1 м) для двух уклонов в пролет (10 и 20%) и трех соотношений между интенсивностью нагрузки по нижнему и по верхнему поясам.

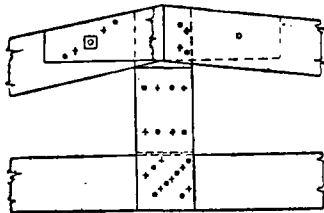
Стык верхнего пояса осуществляется простым торцевым упором, прокладка на гвоздях (фиг. 3) имеет лишь вспомогательное значение и скрепляется с поясом конструктивно, без расчета.

Металлическая подвеска из двух полос (фиг. 3) врезается в прокладку верхнего пояса, а при наличии стыка — и в доски нижнего пояса.



Фиг. 3. Ковынный узел и стык нижнего пояса балки (к фиг. 1)

При отсутствии стыка подвески в нижний пояс не врезаются во избежание ненужного его ослабления. Подвески поддерживают стык и нагрузку по нижнему поясу и кроме того служат для придания балке конструктивного подъема путем выгибания нижнего пояса скрепленной уже во всех частях конструкции. Расстояние между болтовыми дырами в подвеске делается с этой целью меньше расстояния между дырами в поясах на величину строительного подъема. Подвеска может быть выполнена также и из дерева согласно фиг. 4 с помощью обрезков широких досок.



Фиг. 4. Подвеска из дерева (к фиг. 1)

Коэффициенты собственного веса тавровых балок, колеблющиеся в пределах от 5,1 до 17,5, вообще говоря, довольно велики. Наибольшего значения они достигают в балках большого пролета при легкой нагрузке, где особенно неблагоприятно сказывается действие местной нагрузки на большую (4—5 м) панель конструкции и где, естественно, напрашивается переход к четырехпанельной схеме. Расход металла в тавровых балках сравнительно невелик и не превосходит 4% от веса дерева.

Простота изготовления тавровых балок вместе с минимальной конструктивной высотой обеспечивает этой конструкции известное распространение для перекрытия однопролетных зданий небольшого пролета с толевой или рубероидной кровлей.

#### б) Расчет

Для быстрого расчета тавровых балок могут служить графики фиг. 5—7<sup>1</sup>.

График фиг. 5 служит для определения необходимой толщины двух досок верхнего пояса из его расчета на сжатие с продольным изгибом в плоскости балки при уклоне верхнего пояса в 10% и  $[n] = 90 \text{ кг/см}^2$ . Расчетную нагрузку  $q$  следует принимать равной для балок со стыком нижнего пояса:

$$q = q_с + q_n \quad (1)$$

Для балок без стыка нижнего пояса (учитывая неразрезность пояса):

$$q = q_с + 1,25q_n \quad (2)$$

где  $q_с$  — нагрузка по верхнему поясу;

$q_n$  — нагрузка по нижнему поясу.

Графиками фиг. 5 и 7 можно пользоваться также и для расчета балок с уклоном верхнего пояса в 20%, для чего необходимо лишь расчетную нагрузку  $q$  принять вдвое меньшей против ее истинного значения.

Подбор сечения верхнего пояса начинается с того, что задаются высотой  $h$  досок пояса и определяют отношение  $\frac{l}{h}$  пролета балки к высоте досок.

По этому отношению и расчетной нагрузке  $q$ , пользуясь графиком фиг. 5, определяют необходимую толщину досок  $b_1$ . График фиг. 6 служит для определения суммарной толщины  $b_2$  досок верхнего пояса из расчета на местный изгиб нагрузкой  $q_n$ . График построен для балок с любым уклоном верхнего пояса при  $[n_u] = 99 \text{ кг/см}^2$ ; каждая доска предполагается свободно опертой на опорах и в середине пролета балки.

Величина  $b_1 + b_2$  определяет суммарную толщину обеих досок верхнего пояса.

График фиг. 7 служит для определения необходимой толщины доски нижнего пояса из его расчета на растяжение при уклоне верхнего пояса в 10% и  $[n]_+ = 90 \text{ кг/см}^2$  без учета ослабления площади поперечного сечения.

Расчетная нагрузка  $q$  определяется в этом случае так же, как и для верхнего пояса (см. выше).

Подбор сечения нижнего пояса балок, не имеющих местной нагрузки пониже, начинают с того, что, задавшись высотой пояса, вычисляют отношение  $\frac{l}{h}$  и по графику фиг. 7 определяют необходимую на растяжение толщину доски  $b_1$ .

Для балок со стыком, учитывая ослабление пояса в стыке, нужно величину  $b_1$  увеличить примерно на 15%.

Для балок с местной нагрузкой  $q_n$  на нижнем поясе сначала (по графику фиг. 7) определяется толщина доски  $b_1$  из расчета пояса на растяжение, затем (по графику фиг. 6) толщина доски  $b_2$ , находящаяся из расчета на местный изгиб нагрузкой  $q_n$ .

Для балок со стыком нижнего пояса<sup>2</sup> величина  $b_1 + b_2$  определяет полную необходимую толщину доски нижнего пояса; для балок без стыка величина  $b_1 + b_2$  должна быть увеличена примерно на 15% ввиду ослабления нижнего пояса в месте крепления подвески.

Суммарную толщину стыковых накладок нижнего пояса рекомендуется назначать на 1,0—2,0 см больше толщины доски нижнего пояса.

<sup>1</sup> Разработаны автором.

<sup>2</sup> В стыке предполагаем шарнир, при этом максимальный момент возникает в четвертях пролета балки.

Из конструктивных соображений накладки удобно делать того же сечения, что и доски верхнего пояса.

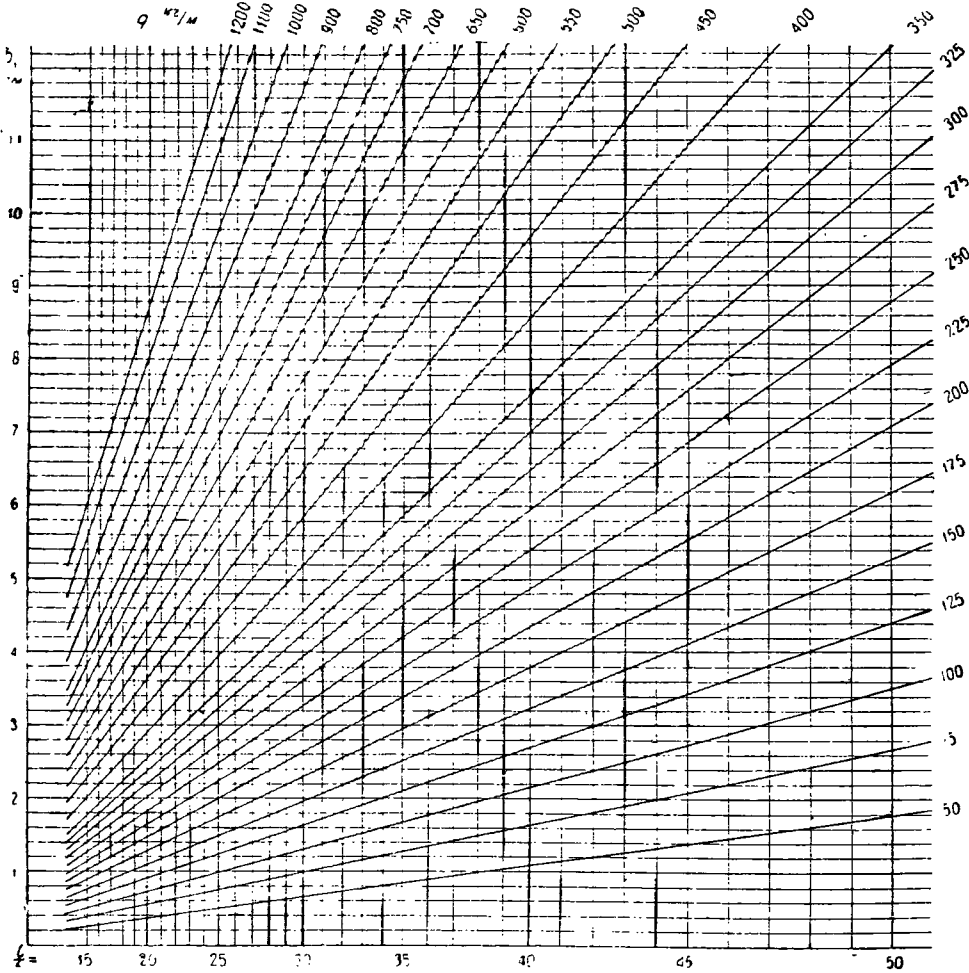
Найдя усилие в нижнем поясе балки по формулам: 1) при уклоне верхнего пояса 10%:

$$U = 2,5 ql, \quad (3a)$$

при уклоне верхнего пояса 20%:

$$U = 1,25 ql, \quad (3б)$$

определяем необходимое количество гвоздей в узле и в стыке по табл. 1. Табл. 1 дает допускаемые усилия на один срез гвоздя в зависимости от его диаметра  $d$  и пробиваемой им толщины  $a$  поясных или стыковых досок и составлена при  $[\sigma_s] = 72 \text{ кг/см}^2$ . При назначении размеров стыковых гвоздей рекомендуется избегать случаев, когда гвозди вследствие недостаточной длины получают неполноценные срезы.



Фиг. 5. График для подбора сечения верхнего пояса балки по сжатию

$$\left( b_1 = \frac{ql}{3\sigma h\varphi} \right)$$

Допускаемые усилия в кг на один срез гвоздя

Таблица 1

а) В крайних досках (верхний пояс и накладки)

| $d$ в мм \ $a$ в мм | 3,5 | 4  | 4,5 | 5  | 5,5 |
|---------------------|-----|----|-----|----|-----|
| 20                  | 35  | 43 | 53  | 63 | 72  |
| 25                  | 35  | 45 | 57  | 69 | 81  |
| 30                  | 35  | 45 | 58  | 72 | 86  |
| 35                  | 35  | 45 | 58  | 72 | 87  |
| и более             |     |    |     |    |     |

б) В средних досках (нижний пояс)

| $d$ в мм \ $a$ в мм | 3,5 | 4  | 4,5 | 5  | 5,5 |
|---------------------|-----|----|-----|----|-----|
| 25                  | 31  | 36 | —   | —  | —   |
| 30                  | 35  | 42 | 48  | —  | —   |
| 35                  | 35  | 45 | 56  | 63 | —   |
| 40                  | 35  | 45 | 58  | 72 | 79  |
| 45                  | —   | 45 | 58  | 72 | 87  |
| и более             |     |    |     |    |     |

При конструировании стыков и уала балок на зубчато-кольцевых шпонках следует руководствоваться данными, приведенными на стр. 98.

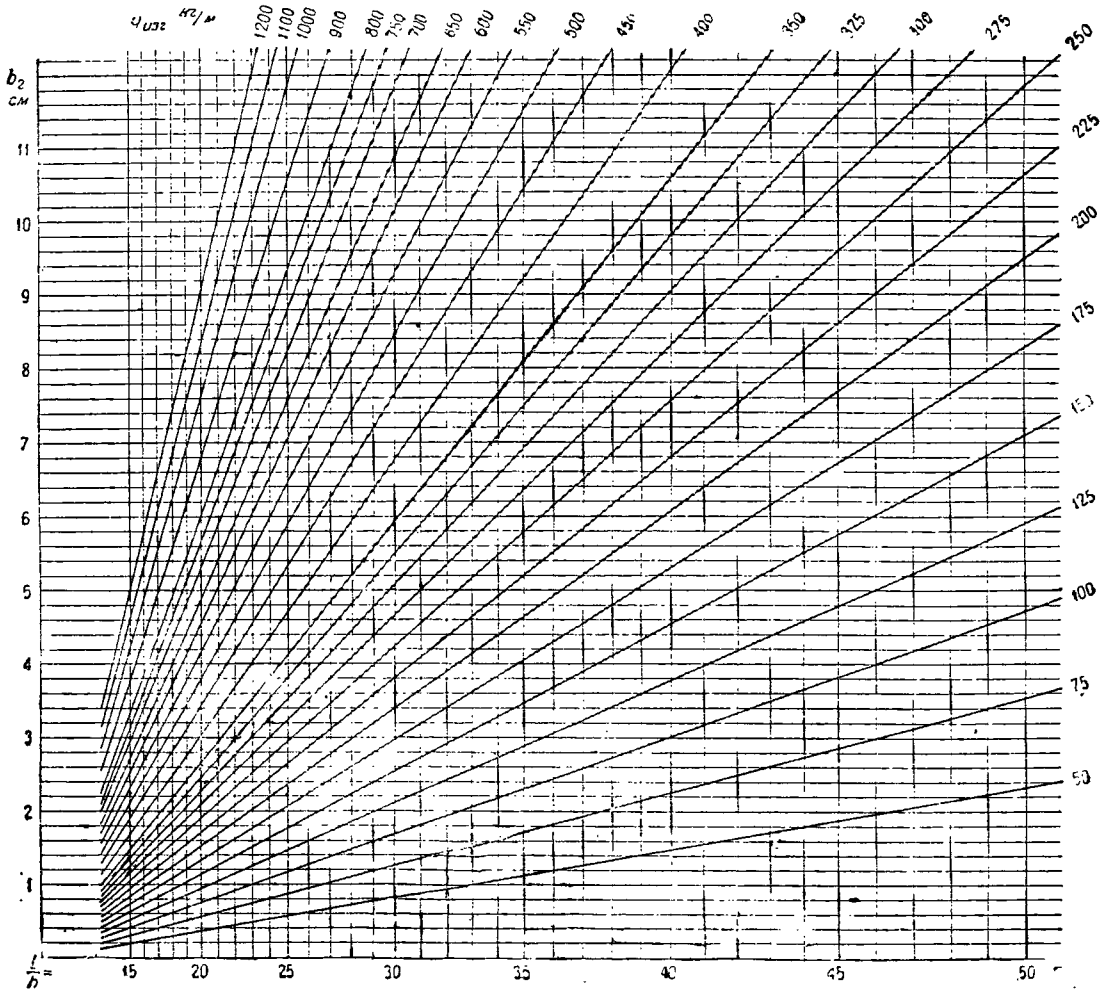
По усилию в подвеске  $V = 0,5 q_n l$  для балок со стыком или  $V = 0,625 q_n l$  для балок без стыка нижнего пояса назначаются сечение металлической подвески и диаметр болтов или нагелей, прикрепляющих подвеску к поясам.

Величина прогиба  $f_{ynp}$  может быть подсчитана по формуле:

$$f_{ynp} = \frac{q l^2}{8 \text{tg}^2 \alpha E} \left( \frac{1}{F_c} + \frac{1}{F_n} \right), \quad (4)$$

где  $q$  — расчетная нагрузка на балку по ф-лам (1) и (2);

$l$  — пролет балки;



Фиг. 5. График для подбора сечения поясов балки по изгибу

$$\left( b_2 = \frac{q_{mp1} \cdot l^2}{528 h^2} \right)$$

Деревянная подвеска (фиг. 4) крепится к поясам на гвоздях, количество которых назначается по табл. 1.

Конструктивный строительный подъем в тавровых балках назначается таким образом, чтобы под расчетной нагрузкой нижний пояс балки был вполне прямолинейен или имел некоторый выгиб вверх.

Прогиб балок  $f_{сmp}$  составляется из прогиба  $f_{ynp}$  от продольной деформации элементов и из прогиба  $f_{сдв}$  от деформации узловых и стыковых соединений.

$\alpha$  — угол наклона верхнего пояса;  
 $F_c$  и  $F_n$  — площади сечения верхнего и нижнего поясов;

$E$  — модуль упругости дерева.

При уклоне верхнего пояса 10% ф-ла (4) принимает вид (в килограммах и сантиметрах):

$$f_{ynp} = \frac{q l^2}{8 \cdot 000} \left( \frac{1}{F_c} + \frac{1}{F_n} \right). \quad (5)$$

При уклоне 20% соответственно:

$$f_{ynp} = \frac{q l^2}{32 \cdot 000} \left( \frac{1}{F_c} + \frac{1}{F_n} \right). \quad (6)$$

Величина прогиба  $f_{сдв.}$  получающегося от деформации на 1 мм сопряжений в опорных узлах при расчетной нагрузке, будет равна для балок с уклоном 10% — 1,0 см, для балок с уклоном 20% — 0,5 см.

При наличии стыка нижнего пояса эти величины должны быть удвоены.

Приводим расчет тавровой балки.

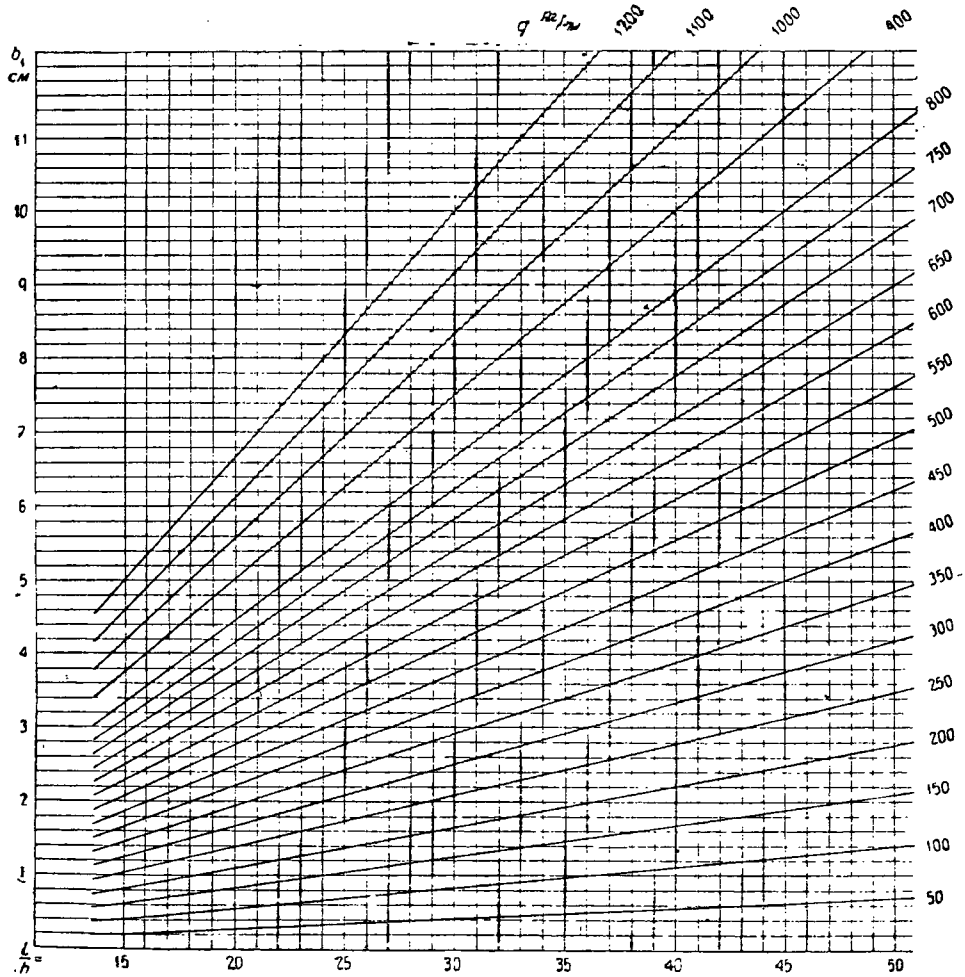
**Пример.** Требуется рассчитать балку с уклоном верхнего пояса 10%, пролетом  $l = 8,0$  м

По этому отношению и нагрузкам  $q = 400$  кг/м и  $q_n = 250$  кг/м находим по графикам фиг. 5 и 6:

$$b = b_1 + b_2 = 5,4 + 4,5 = 9,9 \text{ см.}$$

Принимаем  $b = 10$  см. Приняв для нижнего пояса ту же высоту доски  $h = 26$  см, получим для нагрузок  $q = 400$  кг/м и  $q_n = 150$  кг/м по графикам 7 и 6:

$$b = b_1 + b_2 = 3,4 + 2,7 = 6,1 \text{ см.}$$



Фиг. 7. График для подбора сечения нижнего пояса балки по растяжению

$$(b_1 = \frac{ql}{36h})$$

под нагрузку: по верхнему поясу  $q_s = 250$  кг/м и по нижнему  $q_n = 150$  кг/м. Балка имеет стык. Полная расчетная нагрузка  $q$  найдется по Ф-ле (1):

$$q = q_n + q_s = 250 + 150 = 400 \text{ кг/м.}$$

Задаваясь высотой доски верхнего пояса  $h = 26$  см, получим:

$$\frac{l}{h} = \frac{800}{26} = 30,8.$$

Принимаем  $b = 6$  см. Усилие в нижнем поясе по Ф-ле (3):

$$U = 2,5 ql = 2,5 \cdot 400 \cdot 8 = 8000 \text{ кг.}$$

В опорном узле, а также с каждой стороны стыка необходимо разместить гвоздей  $d = 5$ ,  $l = 150$  мм (по табл. 4):

$$m_1 = \frac{8000}{72,2} = 56 \text{ шт.}$$



Толщину каждой из стыковых накладок принимаем равной 5 см.

По усилию в подвеске

$$V = 0,5 q_k l = 0,5 \cdot 150 \cdot 8,0 = 600 \text{ кг}$$

определяем необходимое для крепления деревянной подвески количество гвоздей  $a = 5$ ,  $l = 150$  мм:

$$m_3 = \frac{600}{72 \cdot 2} = 5 \text{ шт.}$$

Принимаем  $m_3 = 6$  шт.

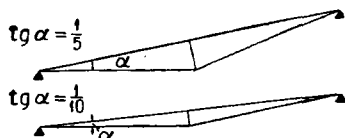
Необходимый строительный подъем:

$$f_{стр} = f_{упр} + f_{сдв} = \frac{4,0 \cdot 800^2}{8000} \left( \frac{1}{260} + \frac{1}{156} \right) + 2,0 = 5,3 \text{ см.}$$

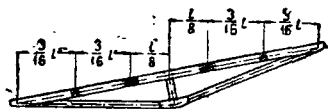
## 2) Шпренгельные балки<sup>1</sup>

### а) Конструкция

Шпренгельные балки являются вариантом рассмотренных выше тавровых балок и отличаются от последних только тем, что ломаное очертание имеет не верхний, а наоборот, нижний пояс фермочки (фиг. 8 и 9).

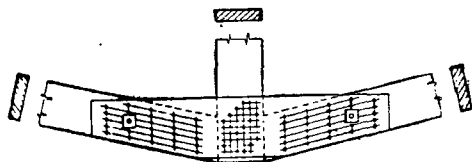


Фиг. 8. Схема шпренгельной балки



Фиг. 9. Фасад шпренгельной балки

Нижний пояс, как и в тавровых балках, состоит из одной доски, верхний — из двух. Опорные узлы шпренгельных балок ничем не отличаются от узлов тавровых балок и осуществляются на гвоздях по фиг. 2. Стык нижнего пояса конструируется с парными накладками на гвоздях (фиг. 10), рассчитываемыми на совместное действие изгибающего момента и продольной силы.

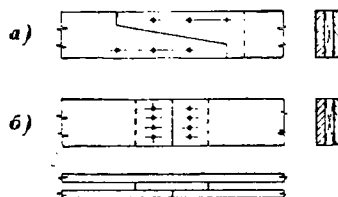


Фиг. 10. Стык нижнего пояса балки (к фиг. 9)

Стойка из одной доски присоединяется к верхнему и нижнему поясу на гвоздях. Если стойку запроектировать из двух досок (что почти не увеличивает веса балки ввиду небольшой длины стойки), ее можно опереть торцами непосредственно в кромки верхнего пояса и стыковых

накладок нижнего, что дает некоторую экономию гвоздей, идущих только на конструктивное скрепление элементов. Однако первый способ предпочтительнее, так как при нем прогиб балки вследствие усушки древесины почти не имеет места, тогда как при втором способе усушка досок вызывает заметную просадку конструкции.

В балках пролетом более 7 м верхний пояс имеет стыки досок, устраиваемые обычно вразбежку на расстоянии  $\frac{l}{8}$  от середины пролета с обеих сторон средней стойки (фиг. 9). В проекте Гипроавтотранса стыки запроектированы согласно фиг. 11, а, исходя из необходимости передачи как продольной, так и поперечной силы.



Фиг. 11. Стык верхнего пояса балки (к фиг. 9)

Однако, принимая во внимание, что поперечная сила не может возникнуть отдельно от продольной, стык можно значительно упростить и выполнить его в виде простого торцевого упора согласно фиг. 11, б, считая, что поперечная сила передается трением, возникающим от сжатия торца продольной силой. Возможно также стыковать обе доски верхнего пояса в середине пролета балки, обжимая стык двумя короткими накладками на гвоздях и болтах.

Конструктивно-вспомогательными элементами шпренгельных балок служат дополнительные прокладки между ветвями верхнего пояса (фиг. 9), располагаемые по одной в полупролете на расстоянии  $\frac{3}{16} l$  от опор и скрепляемые с поясом несложными гвоздями (без расчета).

Техно-экономическая характеристика шпренгельных балок вполне совпадает с данной выше характеристикой тавровых балок и дает основание утверждать, что в ряде случаев шпренгельные балки могут быть с успехом использованы для кровельных покрытий небольшого пролета.

### б) Расчет

Верхний пояс рассчитывается на совместное действие сжимающей силы и поперечного изгиба по обычной формуле сложного сопротивления, причем расчетный изгибающий момент в проектах Гипроавтотранса принимается в четвертях пролета равным  $\frac{q l^2}{40}$ , что примерно соответствует учету неразрезности верхнего пояса при некоторой осадке средней его опоры на стойке.

Если стык обеих поясных досок сделан в середине пролета, расчетный изгибающий момент в четвертях следует принимать равным  $\frac{q l^2}{32}$ .

Если пользоваться графиками фиг. 5 и 6, то в первом случае суммарная толщина обеих поясных досок определится величиной  $b_1 + 0,8 b_2$ , во втором случае  $b_1 + b_2$ .

Нижний пояс обычно не несет местной нагрузки и может быть подобран с помощью одного

<sup>1</sup> Разработаны Гипроавтотрансом.

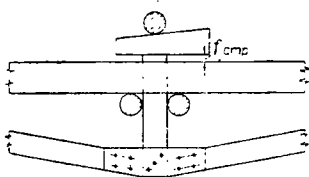
графика фиг. 7. Толщина поясной доски с учетом ослабления определится здесь величиной  $1,15 b_1$ .

Стык нижнего пояса, как и в тавровых балках, в зависимости от уклона рассчитывается на силу  $U = 2,5 ql$  или  $U = 1,25 ql$ . Количество гвоздей в узлах находится с помощью табл. 1.

Стыковые накладки нижнего пояса следует назначать достаточно мощными как по ширине, так и по толщине в расчете на восприятие ими местного изгибающего момента. Можно рекомендовать делать накладки из тех же досок, что и нижний пояс фермы.

Стойки балок со стыками верхнего пояса вразбежку рассчитываются и приверяются по усилию  $V = 0,625 ql$ , со стыками в середине пролета — по усилию  $V = 0,5 ql$ .

Шпренгельным балкам со стыками верхнего пояса вразбежку рационально придавать нормальный конструктивный строительный подъем влорого рода<sup>1</sup>. Порядок сборки при этом будет следующий.



Фиг. 12. Схема придания шпренгельной балке строительного подъема

Сначала собирается в прямолинейном положении верхний пояс и забиваются все гвозди, скрепляющие элементы балки, кроме гвоздей, соединяющих стойку с верхним поясом. Сама стойка, заготовленная соответствующей длины, выходит своим концом из зазора верхнего пояса на величину строительного подъема  $f_{стр}$ . После этого балка помещается в специальный станок (хотя бы в виде трех забитых в землю свай) (фиг. 12), где посредством клина или нажимного винта<sup>2</sup> производится выгибание верхнего пояса, после чего забиваются гвозди, соединяющие стойку с верхним поясом шпренгельной балки. Само собой разумеется, что гвозди, соединяющие концы досок (фиг. 11), должны быть рассчитаны на передачу силы, возникающей при изгибании верхнего пояса в станке. Если стыки досок расположены, как указано выше, на расстоянии  $\frac{l}{8}$  от середины пролета, то гвозди, соединяющие более длинные доски верхнего пояса, должны быть рассчитаны на поперечную силу  $P$ , необходимую для выгибания верхнего пояса в станке. Величина этой силы может быть определена по формуле:

$$P = \frac{256 \cdot 0,60}{(l/h)^2} b f_{стр} \quad (7)$$

<sup>1</sup> По проектам Гипроавтотранса конструктивный строительный подъем не придается и возмещается обычным строительным подъемом верхнего пояса без начальных напряжений. Из-за этого оси досок правой и левой половины фермочки задаются с подъемом в середине пролета, что влечет за собой необходимость подтески переносимых через середину пролета досок и кроме того затрудняет устройство стыков.

<sup>2</sup> См. «Конструктивный строительный подъем».

где  $\frac{l}{h}$  — отношение длины пролета к высоте доски верхнего пояса;

$b$  — суммарная толщина двух досок верхнего пояса;

$f_{стр}$  — величина строительного подъема балки.

Необходимый строительный подъем выражается величиной:

$$f_{стр} = f_{упр} + f_{сдв}$$

где  $f_{сдв}$  — прогиб треугольной фермы от сдвига гвоздевых соединений в опорных узлах и в стыке нижнего пояса, равный 2,0 см при уклоне в 10% и 1,0 см при уклоне в 20%, а  $f_{упр}$  — прогиб от упругих удлинений и укорочений элементов фермы под расчетной нагрузкой, определяемой выражениями (5) и (6).

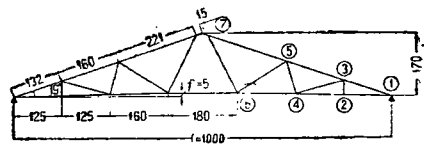
Следует отметить, что конструктивный строительный подъем устраняет прогиб середины пролета шпренгельной балки и приводит к тому, что верхний пояс под расчетной нагрузкой работает на местную нагрузку как неразрезная балка на вполне жестких опорах. Опорный момент в верхнем поясе над стойкой будет поэтому равен  $\frac{ql^2}{2}$ , а в четвертях пролета  $\frac{ql^2}{64}$ .

Пологая расчетный момент в четвертях пролета равным  $\frac{ql^2}{40}$ , мы существенно увеличиваем запас прочности конструкции.

### 3) Треугольные сближенные фермы

При сближенной расстановке треугольных стропильных ферм, когда расстояние между ними составляет 1,5—2 м, имеет смысл обходиться без прогонов, укладывая кровельную обрешетку непосредственно на верхний пояс фермы.

Однако за счет экономии на прогонах приходится увеличивать сечение верхнего пояса, воспринимающего кроме продольной силы еще и изгибающий момент от местной нагрузки. В фермах обычной системы при большой длине панели влияние местной нагрузки становится весьма заметным, а иногда и преобладающим. Поэтому приходится уменьшать длину панели введением шпренгелей или сгущением решетки.

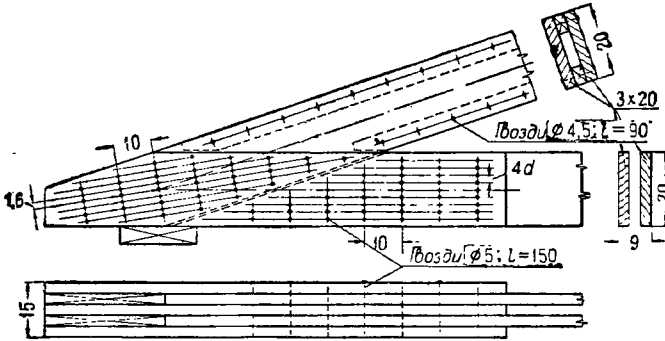


Фиг. 13. Схема треугольной фермы с равными панелями

Анализ работы треугольных ферм с раскосной или треугольной решеткой показывает, что усилия в поясах этих ферм увеличиваются от середины пролета к опорам. Из конструктивных соображений сечение поясов обычно сохраняется постоянным по всей длине фермы, поэтому в панелях у середины пролета сечение имеет неиспользуемые запасы.

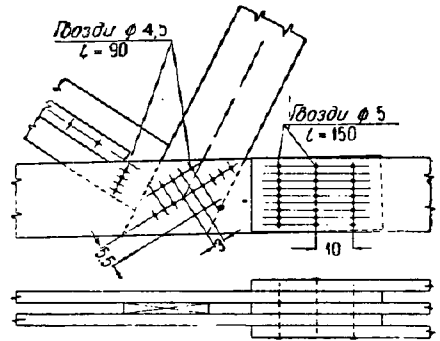
Наиболее экономичными получаются треугольные фермы с местной загрузкой поясов в том случае, когда длина панелей назначается переменной — уменьшающейся от середины пролета к опорам.

На фиг. 13 представлена схема фермы<sup>1</sup> перекрытия тракторных мастерских пролетом  $l = 10$  м. Ферма имеет шесть панелей по верхнему поясу и семь по нижнему. Размеры панелей



Фиг. 14. Опорный узел фермы (к фиг. 13)

Присоединение растянутых раскосов к поясам (фиг. 15—17) производится аналогично опорному узлу. Сжатые раскосы упираются в кромки растянутых раскосов простым лобовым упором.



Фиг. 15. Узел и стык нижнего пояса фермы (к фиг. 13)

подобраны таким образом, чтобы суммарное напряжение от продольных сил и изгибающих моментов во всех панелях как верхнего, так и нижнего поясов было близко к допусковому, т. е. так, чтобы все панели в расчетном отношении были равнопрочны. Фермы, поставленные через 1,6 м, несут по верхнему поясу нагрузку от железной кровли и снега, по нижнему — полшивной оштукатуренный потолок с тяжелой глино-соломенной изоляцией.

Благодаря сближению поясов треугольной фермы от середины пролета к опорам уменьшение в том же направлении длины панелей не только не ухудшает схемы фермы, но даже, наоборот, улучшает ее, так как раскосы становятся менее полными по отношению к поясам. Кроме того ввиду малой длины элементов решетки у опоры уменьшение панели не вызывает значительного расхода на самую решетку. В результате, несмотря на местную нагрузку обоих поясов, коэффициент собственного веса фермы не превосходит четырех, т. е. низшего предела для обычных треугольных ферм.

Следует отметить некоторые детали этой фермы (фиг. 14—17).

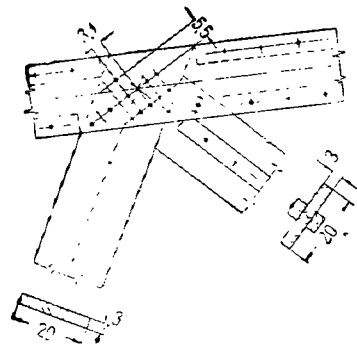
Все соединения элементов спроектированы на гвоздях. Пояса состоят из двух досок  $30 \times 200$  мм (фиг. 14). Верхнему поясу для повышения жесткости придано замкнутое коробчатое сечение путем помещения в зазор между поясными досками прокладок  $3 \times 5$  см (фиг. 14).

Благодаря малой толщине досок и пологости угла между поясами ( $19^\circ$ ) опорный узел удалось выполнить в виде обычного гвоздевого соединения (фиг. 14).

Разметка гвоздевого забоя в узлах фермы (фиг. 14—17), вполне соответствующая обычному гвоздевому забояю по § 174 ТУ и Н, ориентирована по диагоналям параллелограмма, образованного пересекающимися досками. Преимущество предлагаемой сетки заключается, во-первых, в ее ортогональности, а, во-вторых, в том, что в каждом сетчатом пересечении обязательно располагается гвоздь, тогда как в обычной косоугольной сетке большинство пересечений оказывается свободным от гвоздей.

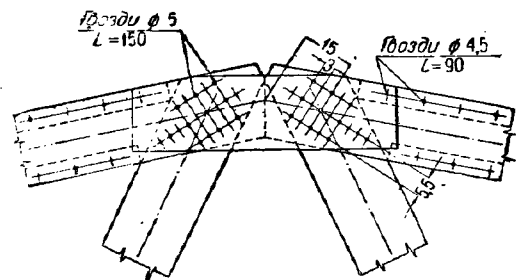
<sup>1</sup> Ферма спроектирована автором.

Углы между сжатыми раскосами и нормалью к их опорным площадкам нигде не превосходят угла трения дерева по дереву. Все же правиль-



Фиг. 16. Узел верхнего пояса фермы (к фиг. 13)

ность положения раскосов кроме чисто монтажных гвоздей, соединяющих раскосы с поясами, обеспечивается накладками сжатых рас-



Фиг. 17. Коньковый узел фермы (к фиг. 13)

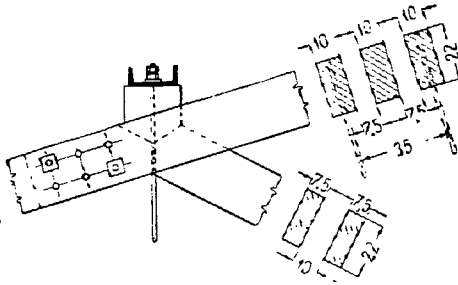
косов, приторцованными к поясам (фиг. 15 и 16), и прокладками верхнего раскосов, приторцованными к кромкам сжатых раскосов (фиг. 16).





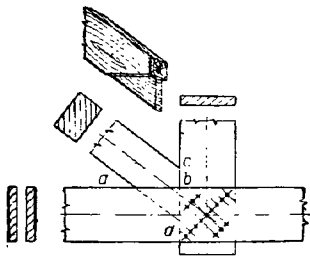
не может быть передано обеими плоскостями врубки ввиду неизбежной щели, возникающей по длинной стороне соприкосновения бревен вследствие усушки древесины. Фактически усилие всегда будет передаваться только одной перпендикулярной к раскосу площадкой врубки, что создает значительный эксцентриситет, вызывающий добавочные напряжения в нижнем поясе фермы.

Промежуточные узлы таких ферм из досок могут быть сконструированы по фиг. 24, 25 или же (при желании избежать значительного несиммет-



Фиг. 27. Трехлобовое узловое сопряжение с вкладышами

ричного ослабления поясов лобовой врубкой) — по фиг. 27 при помощи вкладышей и трехлобового сопряжения. В таких сопряжениях металлические тяжи, назначаемые при мощных поясах парными, либо пропускаются через прокладки или же поясные доски либо выпускаются за габарит поясов и передают усилие на вкладыши при помощи горизонтальных деревянных или же металлических коротышек. Поясные вкладыши, имеющие направление волокон вдоль пояса,



Фиг. 28. Неправильное узловое сопряжение

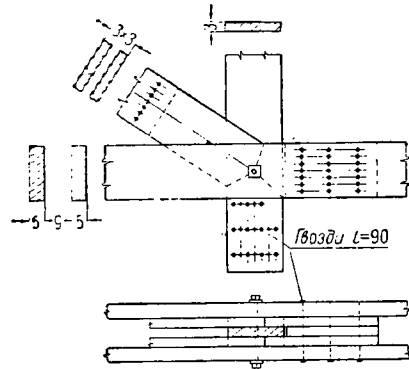
прикрепляются к поясным доскам гвоздями, болтовыми или же трубчатыми нагелями. Сечения раскосов назначаются соответственно зазорам между ветвями поясов.

Соединения этого типа являются достаточно надежными и простыми в исполнении, однако требуют точной по шаблону обрезки торцов раскосов и вкладышей, позволяющей избежать подтеки опорных поверхностей на месте сборки фермы.

Треугольные фермы с раскосами из круглого железа являются надежными конструкциями; они позволяют в случае надобности устранить провисание перекрытия подъемом его на домкратах и подтягиванием гаек у тяжей. Однако большой расход металла, составляющий в этих

фермах до 20% от веса древесины, вынуждает в ряде случаев отказаться от применения металлических тяжей и перейти на деревянные растянутые стойки. В этом случае промежуточные узлы могут быть сконструированы по одному из следующих способов.

а) Если ферма спроектирована из тонкого сортамента досок, то стойки могут быть прикреплены к поясу непосредственно гвоздями или же нагелями (фиг. 28). Сжатые раскосы брусчатого сечения могут быть присоединены непосредственным упором в кромки поясов и стоек. Подобное сопряжение получается удачным только в тех случаях, когда угол между раскосом и стойкой заключается в пределах от 90 до 70° (фиг. 15 и 16). При более острых углах, как например в узле по фиг. 28, усилие раскоса передается двумя площадками *ab* и *cd*, причем передающиеся через эти площадки составляющие усилия в раскосе создают дополнительные изгибающие моменты как в стойке, так и в поясе. При определении расчетных напряжений в элементах фермы добавочные напряжения от изгиба должны быть обязательно учтены.



Фиг. 29. Трехлобовое узловое сопряжение при деревянных растянутых стойках

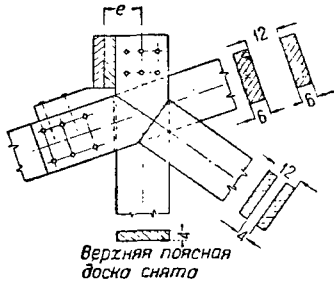
Примеры таких узлов (фиг. 26 и 28) показывают, что не всегда центровка осей элементов фермы избавляет от дополнительных напряжений изгиба.

б) Довольно удачным узловым сопряжением является трехлобовая врубка аналогично врубке на фиг. 27, но при деревянных стойках. В этом случае расстояние между ветвями поясов увеличивают (фиг. 29) настолько, чтобы в зазор между поясами проходили двойные раскосы и одинарные стойки.

В плоскости досок раскосов располагаются одинаковой с ними толщины парные прокладки по оси пояса и по оси раскоса. Накладки и прокладки крепятся к стойке и поясу гвоздями, нагелями или кольцевыми шпильками. Иногда стойки делают из брусев, в которых выбирают соответствующие пазы для помещения концов раскосов и поясных прокладок. В этом случае отпадает необходимость в применении гвоздей, соединяющих стойки со своими накладками, и кроме того хвост стойки, выходящий из очертания фермы, становится значительно короче.

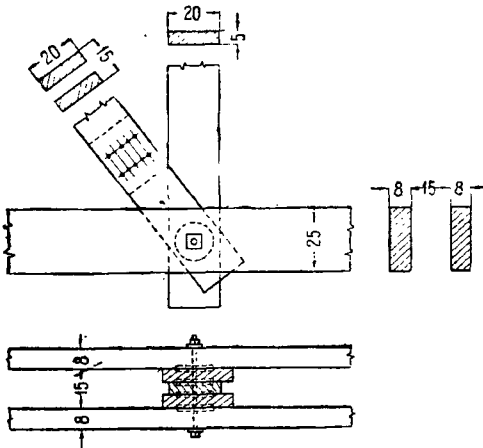
Для узел верхнего пояса такая врубка неудобна тем, что из-за длинного конца стойки затрудняется центральное положение прогона, который приходится смещать и устанавливать

рядом со стойкой так, как это показано на фиг. 30. Вместо трехбиссектрисной врубки здесь целесообразнее применить трехлобовую врубку по фиг. 30, где упорная плоскость раскоса перпендикулярна к его оси. Такая врубка не только упрощает обработку концов раскосов, но и лучше обеспечивает передачу усилия от прогона через пояс фермы на раскос. Смещенный прогон следует всегда располагать с той стороны стойки, где находятся упорные прокладки пояса (фиг. 30).



Фиг. 30. Трехлобовое сопряжение при наличии смещенного прогона

Если расположить прогон с другой стороны стойки, то при передаче усилия от прогона на раскос поясные прокладки должны будут воспринять значительные скручивающие моменты, на которые нагельное соединение прокладок с поясом не рассчитано.



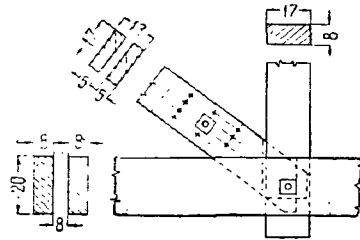
Фиг. 31. Нормальный узел при кольцевых соединениях

Следует иметь в виду, что при смещенном положении прогона неизбежно возникают изгибающие моменты как в поясе, так и в элементах решетки. Эти моменты должны учитываться при определении расчетных напряжений; для простоты расчета можно полагать, что момент полностью воспринимается одним лишь поясом, распределенным поровну вправо и влево от узла, т. е. считать, что дополнительное напряжение в поясе возле узла равно:

$$n = \frac{P_2}{2W}, \quad (8)$$

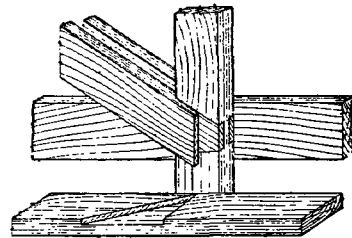
где  $P$  — нагрузка от прогона;  
 $e$  — эксцентриситет прогона относительно центра узла;

$W$  — момент сопротивления сечения пояса.  
 в) Узел получается еще проще, если применяются зубчатые или гладкие кольцевые шпонки. Ввиду сравнительно небольшой величины усилия для прикрепления элементов решетки удается обойтись парой колец. Как и в рассмотренном случае, решетка пропускается в зазор между досками поясов (фиг. 31). Стойка соединяется парой колец с раскосом, раскос — двумя кольцами с поясом.



Фиг. 32. Нормальный узел нижнего пояса при сопряжении ножничной врубки

г) Промежуточные узлы треугольных ферм могут быть осуществлены также с помощью ножничных врубок. В этом случае стойки делаются из брусков толщиной, равной зазору между поясными досками (фиг. 32). Сжатые раскосы выполняются из парных досок, расстояние между осями которых принимается обычно равным толщине стойки. Ножничная врубка получается, как известно, путем врубания раскосов на половину толщины доски в пояс и на половину в стойку (фиг. 33). В том случае, если узел сво-



Фиг. 33. Аксонометрия узла нижнего пояса на ножничных врубках

боден от местной нагрузки, площадки врубки, передающие давление, делаются перпендикулярными к осям пояса и стойки, как на фиг. 32 и 33, где изображен нижний пояс треугольной фермы без подвесного потолка.

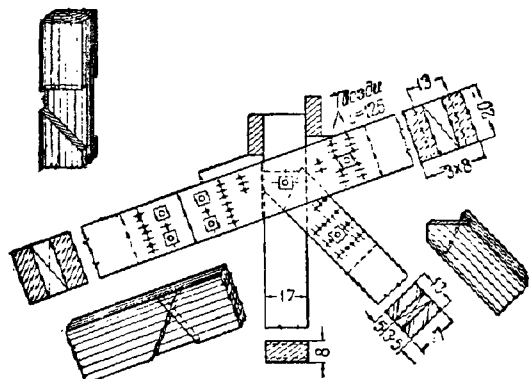
При наличии в узле прогона последний устанавливается обычно не на стойку, а на пояс (фиг. 34), вследствие чего площадка, передающая давление от раскоса на пояс, делается наклонной к оси пояса (фиг. 34 и 35). Угол наклона площадки назначается таким образом, чтобы нормаль к площадке совпала с направлением равнодействующей реакции прогона и усилий в раскосе и стойке.

Чтобы избежать эксцентричного давления на узел прогона, последний нередко делают пар-

ным (фиг. 34). Нужно однако иметь в виду, что и в этом случае в поясе фермы возникают дополнительные напряжения от изгиба. Каждый из парных прогонов вызывает в верхнем поясе изгибающий момент одного и того же знака, определяемый с достаточной степенью точности по формуле:

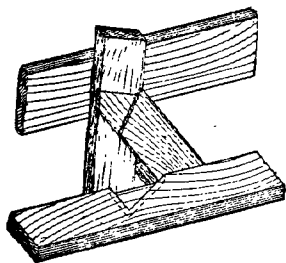
$$M = \frac{P}{2} e, \quad (9)$$

где  $\frac{P}{2}$  — давление от каждого из прогонов;  
 $e$  — расстояние от прогона до оси узла.



Фиг. 34. Нормальный узел верхнего пояса на коньчатых врубках при наличии смещенных прогонов

Выражение (9) вполне соответствует приведенному выше выражению (8) для определения влияния внецентренности прогона; это позволяет сделать заключение, что в отношении дополнительных напряжений в поясах фермы симметричное расположение прогона не имеет преимуществ по сравнению с односторонним расположением. При одностороннем расположении



Фиг. 35. Аксонометрия узла (к фиг. 34)

прогон почти всегда можно выполнить неразрезным, сваренным из двух досок, что не только дает экономию на самих прогонах, но и значительно увеличивает жесткость кровли. При двойных прогонах по фиг. 34 осуществление каждого из прогонов из двух досок возможно только при большой панели фермы, большом расстоянии между фермами и не слишком легкой нагрузке.

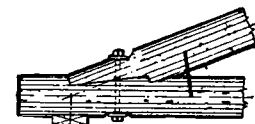
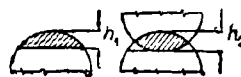
б) Опорные узлы треугольных ферм с нисходящим раскосами

В фермах из круглого леса опорные узлы делаются обычно в виде одинарного лобового

зуба по типу фиг. 24—25 или в виде двойного лобового зуба (фиг. 36).

При проектировании одинарного лобового зуба, как указывалось выше, необходимо центрировать опорные площадки врубок по геометрической сетке фермы. При конструировании узла по фиг. 25 ось верхнего пояса не совпадает с геометрической осью фермы в пределах опорной панели, в результате чего расчетная схема треугольной фермы получает излом. Этот излом весьма нежелателен, так как, с одной стороны, затрудняет конструирование, а с другой, — вызывает в верхнем поясе фермы значительные изгибающие моменты вследствие его эксцентричного нагружения, поэтому конструкция опорного узла по фиг. 25 может быть допущена только при наличии в сечении верхнего пояса больших запасов при небольшом пролете и в слабо нагруженных фермах.

Конструкция опорного узла по фиг. 24 может быть применена также только при наличии больших запасов и при слабом использовании сечения поясов. Глубину врубки лобовым зубом желательно делать не более, чем на  $0,3 d$ , где  $d$  — диаметр бревна. Эта глубина ограничивает пределы применения одинарного лобового зуба для опорного узла фермы.



Фиг. 36. Опорный узел с двойным лобовым зубом

Обычно выполнить опорный узел одинарным зубом не удается и приходится применять двойной лобовой зуб. Конструируя двойной зуб по фиг. 36, следует стремиться к тому, чтобы суммарный центр тяжести площадок сжатия совпал с осью верхнего пояса. Это условие будет в достаточной мере соблюдено, если обе площадки врубки, передающие нагрузку, будут иметь одинаковую площадь соприкосновения верхнего пояса с нижним. При этом принимается, как об этом уже говорилось выше, что третья площадка соприкосновения поясов, расположенная под весьма острым углом к осям поясов, не работает, т. е. не передает усилий.

Для получения равных площадей врубок необходимо глубину  $h_1$  врубки крайнего зуба, расположенного над центром опоры, сделать меньше глубины  $h_2$  врубки второго зуба. Это ясно видно из деталей на фиг. 36, откуда можно усмотреть, что при равных диаметрах поясов площадь сегмента в зубе с высотой  $h_2$  использована не полностью, в зубе же с высотой  $h_1$  — полностью. Самый расчет необходимых размеров врубки значительно облегчается при наличии таблиц площадей сегментов в функции от диаметра бревна и глубины врубки.

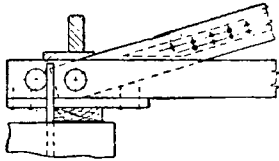
Недостатками двойного зуба являются несколько увеличенное ослабление нижнего пояса и известная трудность приторцовки врубки ввиду необходимости получения одновременного и оди-







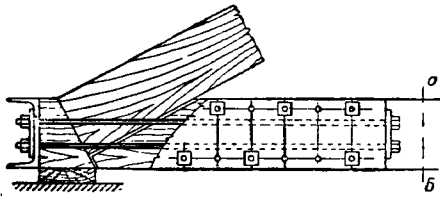
ной; если в случае неудачной запрессовки зубчато-кольцевых шпонок между вкладышем и торцом верхнего пояса может образоваться щель, опорный узел по фиг. 43 приходится исправлять введением в образовавшиеся щели соответственной толщины металлических (обмазанных антисептиком) прокладок. Применение узла по типу фиг. 43 менее рискованно при соединении элементов на гвоздях или нагелях и никак не может быть допущено в случае применения гладких кольцевых шпонок.



Фиг. 43. Опорный узел на зубчато-кольцевых шпонках

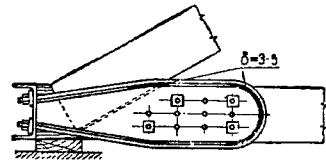
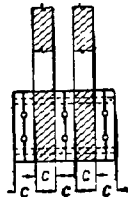
д) Наиболее компактные опорные узлы с хвостами минимальной длины получаются при применении металлических тяжей, передающих усилие с верхнего пояса на нижний.

Два таких узла с вертикальной осью изгиба хомутов приведены в примере сегментной фермы в § 220 ТУ и Н. Недостатком этих узлов, идея которых заимствована из американской строительной практики, является необходимость сверловки дыр для болтов и нагелей сразу через весь пакет досок и металлических листов. Раздельная же сверловка дыр в металле и дереве, как показала практика, даже при самом тщательном выполнении их дает значительное несовпадение центров отверстий, что резко снижает запас прочности узла ввиду неравномерности работы нагелей.



Фиг. 44. Опорный узел с натяжными болтами

Разрез по а-б



Фиг. 45. Опорный узел с хомутами из круглого железа

Второй недостаток указанных узлов — препятствие металлических листов усушке дерева, представляющее опасное растрескивание древесины по линии нагелей, — может быть устранен выполнением хомутов из полосового железа и установкой их с небольшими зазорами.

В практику строительства сегментных ферм в СССР получил большое распространение опорный узел по фиг. 44 с натяжными болтами. Являясь надежным и нетрудным в исполнении, этот узел может найти применение в фермах любого очертания, в том числе и в треугольных фермах.

Сопряжение элементов в узле этого типа может быть осуществлено как биссектрисной, так и трехбиссектрисной врубкой, как на фиг. 40 и 46. Наиболее простым и рациональным является

сопряжение, ортогональное к верхнему поясу (фиг. 44). Упорные вкладыши следует делать из дуба с направлением волокон вдоль нижнего пояса фермы. Обычно упорные вкладыши за недостатком дуба изготавливаются из сосны, что нередко сопряжено с большим перенапряжением вкладыша на смятие. Хотя это перенапряжение и не вызывает преждевременного разрушения фермы, оно все же нежелательно ввиду увеличения осадки конструкции.

Чтобы передать давление от фермы на опорную подушку, вкладыши должны иметь внизу достаточно широкую площадку. Для этого толщину их следует делать вдвое больше толщины поясных досок, с тем чтобы каждый упорный вкладыш касался соседнего вкладыша. Натяжные болты пропускаются через упорные вкладыши в канавках глубиной, равной половине диаметра тяжа.

Усилие нижнего пояса передается на тяжи деревянными накладками, прокладками и болтовыми нагелями. Для пропуска натяжных болтов через накладки и прокладки последние составляются из двух досок, в каждой из которых делается канавка для тяжа глубиной, равной половине диаметра тяжа.

По концам тяжа должны быть поставлены достаточно мощные шайбы. Последнее относится также и к сопряжению тяжей со швеллером, особенно в сегментных фермах (с многослойным верхним поясом). Но и в треугольных фермах ввиду недостаточной жесткости стенки швеллера шайбы под гайками болтов являются далеко не лишними, способствуя лучшему распределению напряжений смятия по обеим плоскостям упорного вкладыша.

Ввиду необходимости изготовления накладок и прокладок из тонких досок количество стяжных болтов в узле по сравнению с обычными на-

гельными стыками должно быть увеличено и доведено до 40—50% от числа отверстий.

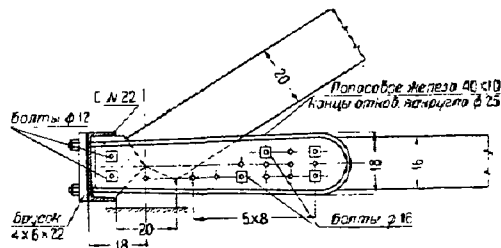
Недостатками опорного узла описанного типа являются необходимость канавок в накладках и прокладках, повышенный расход металла на стяжные болты и довольно большая конструктивная длина узла вследствие размещения нагелей не более чем в два ряда, что иногда затрудняет прикрепление к нижнему поясу первой от узла стойки в фермах с восходящим первым раскосом.

Указанные недостатки устранены в опорном узле, представленном на фиг. 45; хомуты из болтового железа обгибают накладки и прокладки, передавая на них усилие изогнутыми подкладками из полосового железа.

Сопряжение тяжа со швеллером производится с помощью клинчатых шайб. В местах перегиба

тяжелей устанавливаются подкладки, изогнутые из полосового железа. Сами тязки проектируются обычно с ослабленными концами при полном использовании допустимого напряжения на всей длине тязки.

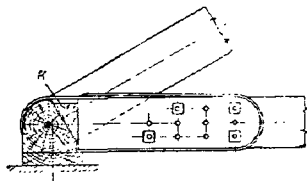
Известное усложнение конструкции, вызываемое порезом тязка в узле, может быть устранено применением швеллера увеличенной высоты и конструированием узла по фиг. 46. Однако



Фиг. 46. Опорный узел с хомутами из полосового железа

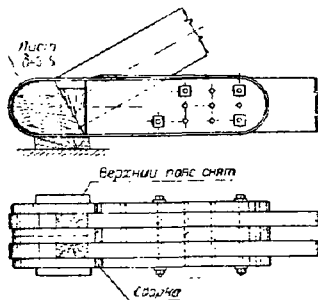
в результате утяжеления швеллера и применения под гайками тязкой достаточно мощных шайб-реборд, необходимых для усиления дугно изгибающейся тонкой стенки швеллера, расход металла при этом значительно повысится.

В узле по фиг. 46 тязки показаны из полосового железа, что избавляет от необходимости приме-



Фиг. 47. Опорный узел со сварными хомутами из полосового железа

ния подкладок для передачи усилия от тязки на торцы накладок и прокладок. Однако отковка концов тязки для нарезки является работой, еще более трудоемкой, чем осаживание концов хомута в узле по фиг. 45.



Фиг. 48. Иной тип опорного узла со сварными хомутами из полосового железа

Применение полосового железа для хомутов вполне оправдывается, если узел осуществляется по фиг. 47 и 48.

В этом случае концы хомута склепываются или же свариваются и таким образом получается замкнутое кольцо. Если  $n_0$  *рунто* в поясах фермы не

превосходит  $50 \text{ кг/см}^2$ , то упорный вкладыш может быть осуществлен в виде дубового лежня (фиг. 47), непосредственно охватываемого кольцевыми хомутами. Клинья *К*, закладываемые в зазор между торцами прокладок и упорным лежнем, служат для натяжения хомутов в процессе сборки фермы.

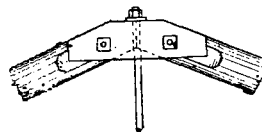
Если  $n_0$  *рунто* в одном из поясов фермы превосходит  $50 \text{ кг/см}^2$ , опорный узел может быть осуществлен по фиг. 48, где направление волокон дубовых или сосновых вкладышей совпадает с направлением волокон нижнего пояса фермы.

Усилие кольцевых хомутов передается здесь на упорные вкладыши через изогнутый металлический лист толщиной 3—5 мм, являющийся обоймой для упорных вкладышей. Вкладыши могут быть при этом, если позволяют размеры узла, выполнены из одного куска дерева, но с таким же успехом число вкладышей может быть сделано равным числу ветвей верхнего пояса фермы.

Клинья, так же как и в узле по фиг. 47, служат для натягивания хомутов при сборке фермы с целью получения достаточно плотного сопряжения всех элементов узла.

#### в) Коньковые узлы треугольных ферм с нисходящими раскосами

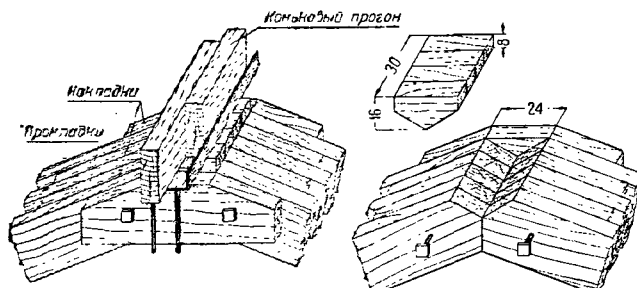
В фермах из круглого леса коньковый узел образуется простым торцевым сопряжением верхних поясов фермы (фиг. 49). Усилие от тязки передается на пояс посредством гайки и шайбы.



Фиг. 49. Коньковый узел бревенчатой фермы

Боковые накладки, соединяемые парой болтов, играют роль монтажного скрепления, необходимого во всех конструкциях конькового узла.

Если промежуточные узлы фермы образованы с помощью упорных прокладок по типу фиг. 27, то коньковый узел устраивается аналогичной конструкции согласно фиг. 50. Здесь сопряжение

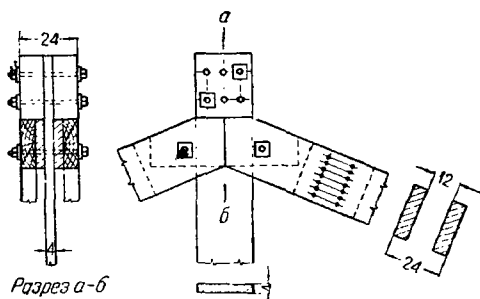


Фиг. 50. Коньковый узел с трехбиссектрисным сопряжением на вкладышах

элементов аналогично фиг. 27 применено трехбиссектрисного типа с передачей усилия на металлические тязки с помощью отрезка швеллера.

В тех случаях, когда стойки фермы осуществляются из дерева и промежуточные узлы применяются по фиг. 29 или 30, коньковый узел устраи-

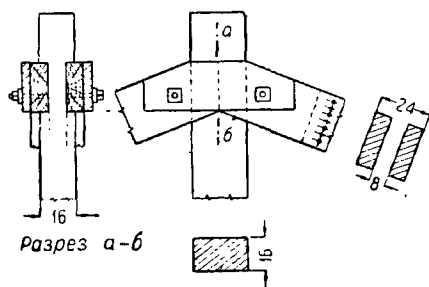
вается по типу фиг. 51, где показано ортогональное к стойке сопряжение поясов, легко превращаемое в случае желаниа в трехбисектрисное сопряжение.



Фиг. 51. Коньковый узел с трехлобовым сопряжением при деревянных стойках

Если промежуточные узлы осуществляются на поперечных врубах (фиг. 32—34), то коньковый узел разрешается аналогично фиг. 52.

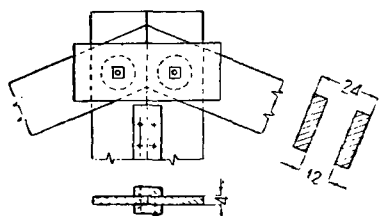
Толщина средней стойки фермы должна быть больше, чем толщина остальных стоек; пояса врубаются в стойку трехбисектрисной или же ор-



Фиг. 52. Коньковый узел фермы на поперечных врубах

тогональной к стойке щеновой врубкой. При слишком больших размерах поперечного сечения средней стойки последняя может быть составлена из двух досок.

Если промежуточные узлы фермы осуществляются на гладких или, что значительно лучше, — на зубчатых кольцевых шпонках (фиг. 31),



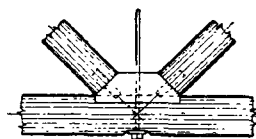
Фиг. 53. Коньковый узел фермы с кольцевыми соединениями

конструированию конькового узла наиболее просто при двойной средней стойке (фиг. 53), каждая из досок которой соединяется с парными прокладками двумя кольцами; прокладки в свою очередь соединяются кольцами с по-

ными досками. В фермах с крутым верхним поясом необходимо обеспечить связь между обемными досками стойки нашпиковой накладкой на гвоздях по типу фиг. 53. В противном случае при односторонней нагрузке могут возникнуть значительные изгибающие моменты в нижнем поясе у середины пролета фермы вследствие передачи здесь поперечной силы через сечение нижнего пояса.

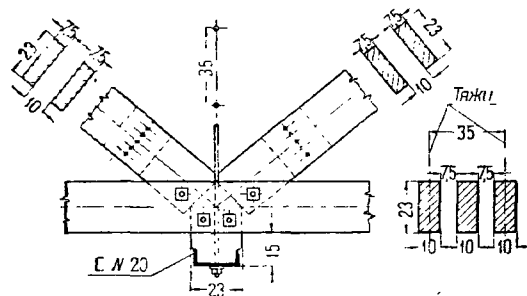
г) Средние узлы нижнего пояса в треугольных фермах с нисходящими раскосами

Главное требование, предъявляемое к средним узлам треугольных ферм с нисходящими раскосами по типу фиг. 23, заключается в возможности восприятия кроме сплошной нагрузки по всему пролету также и односторонней нагрузки, расположенной на одной половине пролета фермы.



Фиг. 54. Средний узел нижнего пояса бревенчатой фермы

При односторонней нагрузке из двух раскосов, сходящихся в среднем узле, работает только один. Конструкция узла должна обеспечивать возможность передачи усилия с одного из раскосов на нижний пояс и стойку при условии, что другой раскос напряжен только частично (одной постоянной нагрузкой) или же для большей надежности полагая усилие в нем равным нулю.



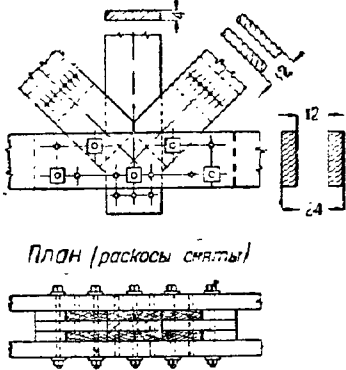
Фиг. 55. Средний узел нижнего пояса фермы с металлическими стойками и сопряжениями на вкладышах

Для ферм из круглого леса наиболее простой и надежной является конструкция среднего узла по фиг. 54 с применением сосновой или дубовой подушки, плотно врезанной в нижний пояс фермы.

В дощатых фермах с металлическими стойками, где промежуточные узлы выполнены по фиг. 27, средний узел может быть сконструирован по фиг. 55. В таком узле горизонтальная составляющая усилия в раскосе от односторонней временной нагрузки передается на нижний пояс четырьмя горизонтальными стяжными болтами и отчасти нагельными срезами двух вертикальных тяжей. Последние все же включать в расчет не следует ввиду того, что их участие в работе

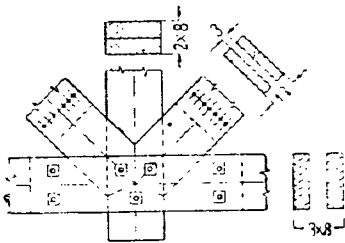
не обеспечено вследствие длительного пути передачи усилия со вкладыша на вкладыш.

В фермах с деревянными стойками, имеющих промежуточные узлы по фиг. 29—30, средний узел может быть выполнен согласно фиг. 56.



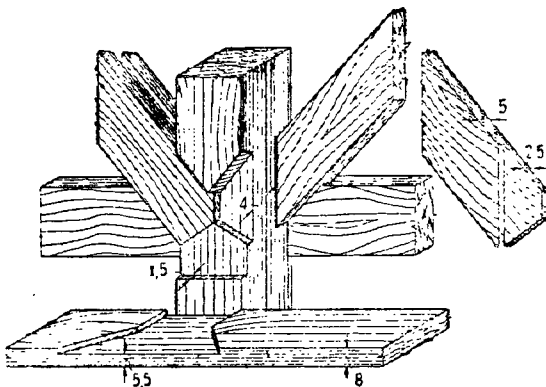
Фиг. 56. Средний узел нижнего пояса фермы с деревянными стойками

В этой конструкции горизонтальные нагели, связывающие раскосы и конец стойки с поясом, имеют большое значение для передачи на пояс усилия от односторонней нагрузки. Сопряжение



Фиг. 57. Средний узел нижнего пояса фермы на кожычковых врубках

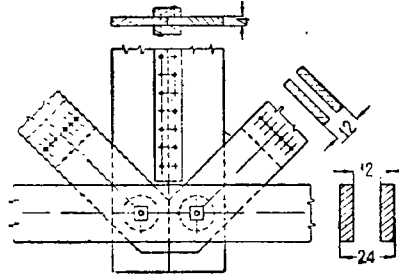
усилено прокладками, соединенными с поясом болтами и нагелями. Достоинством узла этого типа является хорошая центровка усилий как при полной, так и при односторонней нагрузке.



Фиг. 58. Аксонометрия узла (к фиг. 57)

Если промежуточные узлы решены на кожычковых врубках (фиг. 32—34), то средний узел конструируется соответственно коньковому узлу (фиг.

52) так, как это показано на фиг. 57 и 58. Примененное здесь трехбиссектрисное сопряжение имеет тот недостаток, что от односторонней нагрузки напряженный раскос передает свое усилие главным образом через нижнюю половину торца. Верхняя половина торца, поддерживаемая ненапряженным раскосом, не встречает должного сопротивления и потому должна считаться неработающей. Благодаря внецентренному действию усилия в раскосе в узле возникают дополнительные изгибающие моменты, не представляющие впрочем большой опасности ввиду наличия при односторонней нагрузке значительных запасов в сечении большинства сходящихся в узле элементов. Внецентренное сжатие раскоса, испытывающего полное расчетное усилие, тоже опасно,



Фиг. 59. Средний узел нижнего пояса фермы с кольцевыми соединениями

пбо получающийся при этом эксцентриситет не оказывает существенного влияния на продольный изгиб раскоса из плоскости фермы. Более существенным может оказаться перенапряжение смятия по площадке опирания раскоса. Расчетное напряжение по этой площадке следует определять при односторонней нагрузке.

Если промежуточные узлы фермы решаются на гладких или зубчатых кольцевых шпонках (фиг. 31), то средний узел нижнего пояса в соответствии с коньковым узлом по фиг. 53 может быть сконструирован по фиг. 59. При односторонней нагрузке в узле такого типа работает только одна из досок, составляющих стойку. Для восприятия поперечной силы, возникающей от односторонней нагрузки, необходима связь между обеими досками (проще всего осуществляемая гвоздями через долевые нашивки), так как в кровлях с крутыми скатами поперечная сила не может быть воспринята торцами верхнего пояса через посредство сил трения.

## 2) Треугольные фермы с восходящими раскосами

Фермы с восходящими раскосами (фиг. 60) встречаются значительно реже, чем фермы с нисходящими раскосами. Это объясняется тем, что прикрепление растянутых элементов в дере-



Фиг. 60. Схема треугольной фермы с восходящими раскосами

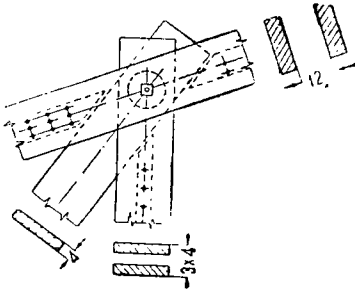
вянных конструкциях значительно труднее, чем прикрепление сжатых элементов, потому вполне целесообразно делать растянутыми менее нагруженные элементы решетки, т. е. стойки.

В фермах с восходящими растянутыми раскосами наиболее употребительным типом соединений для промежуточных узлов являются гладкие и зубчатые кольцевые шпонки.

Применение гладких кольцевых шпонок для присоединения мощных растянутых раскосов нежелательно ввиду недостаточной надежности этих соединений.

Узлы могут быть при этом сконструированы по одному из следующих основных вариантов.

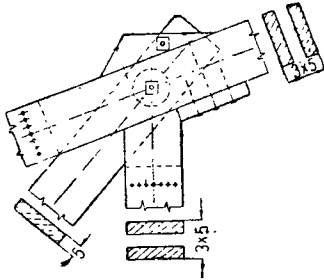
1. Узлы копируются аналогично узлу на фиг. 31 при уширенных зазорах между поясными досками (фиг. 61). Растянутый раскос подбирается из одной доски и соединяется со стойкой двумя кольцами.



Фиг. 61. Нормальный узел с кольцевыми шпонками

Стойка, состоящая из двух досок, соединяется с поясом тоже двумя кольцами. Раскос может быть усилен дополнительными двумя досками, накладываемыми на пояс с обеих сторон. В треугольных фермах, имеющих пояса из двух досок, в усилении раскоса обычно надобности не встречается.

2. Зазор между поясными досками делается равным толщине раскоса (фиг. 62). Раскос соединяется парой колец непосредственно с поясом.

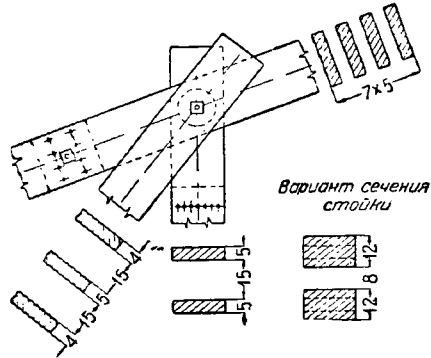


Фиг. 62. Узел с кольцевыми шпонками и лобовым упором стоек

Стойка опирается соответственно срезанным торцом на кромки пояса или с помощью кличатых подушек. В том и другом случае стойка должна быть обеспечена от сдвига вдоль верхнего пояса специальными нашивками на гвоздях. При такой конструкции узловое сопряжение получается значительно более компактным. При угле наклона верхнего пояса не более 20° нашивки крепятся конструктивно без расчета. При больших углах наклона гвозди рассчитываются на избыток сдвигающей силы сверх силы трения. Узел по фиг. 62 дает значительно большую площадь опирания стойки на пояс, чем узел по фиг. 61. Кроме того и расход колец в этом случае полу-

чается значительно меньше. Однако влияние усушки поясных досок на прогиб фермы в этом случае больше.

Для мощных ферм с поясами из четырех досок иногда применяется конструкция узла по фиг. 63. Средняя доска тройного раскоса заходит здесь в средний зазор пояса, две другие доски раскоса охватывают пояс с двух сторон; доски двойной стойки занимают крайние зазоры пояса. Во всех плоскостях соприкосновения досок ставятся кольца. Иногда стойкам узла по фиг. 63 придается несколько иное сечение, показанное на фиг. 63 сбоку. Доски стоек утолщаются при одном и том же положении их осей, для пропуска пояса в стойках делаются соответствующие врубки. Усилие стойки передается торцами врубок на кромки поясных досок, что избавляет от необходимости



Фиг. 63. Узел мощной фермы с кольцевыми соединениями

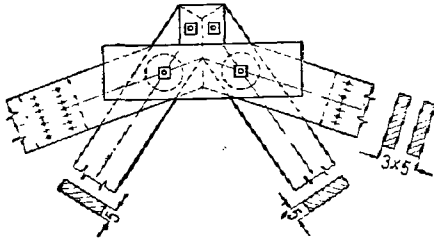
постановки колец в плоскостях соприкосновения стоек с поясами. В результате вместо восьми колец на узел удастся обойтись вдвое меньшим количеством, причем и ослабление поясных досок получается соответственно меньшим.

Следует отметить, что узлы по фиг. 61—64 могут быть выполнены не только на кольцевых шпонках, но и на металлических нагелях, а узел по фиг. 62 при не слишком мощных сечениях досок — даже на гвоздях. При мощных сечениях гвоздевые соединения могут быть применены только в том случае, если ферма образована путем спаривания двух легких ферм, сконструированных по типу фиг. 62. Сечение пояса получается при этом тройным, причем толщина средней ветви равна двойной толщине крайних.

Коньковые узлы конструируются всегда по одному типу — верхние пояса соединяются простым торцевым упором; раскосы смещаются относительно геометрического центра узла настолько, чтобы оба сходящиеся в узле элемента могли быть прикреплены так же, как и в промежуточных узлах. На фиг. 64 показан коньковый узел фермы, имеющей промежуточные узлы по фиг. 62. Для уменьшения эксцентриситета действующих в узле усилий доски верхнего пояса стесываются сверху на некоторую высоту — это понижает центр тяжести сжатых торцевых площадок верхнего пояса и приближает проходящую через этот центр линию распора к точкам пересечения осей раскосов с осями верхнего пояса. Наличие небольшого эксцентриситета в коньковом узле обычно не вызывает опасений ввиду того, что в средних панелях верхнего пояса напряжение, как правило, ниже допустимого.

Выступающие вверх концы раскосов обжимаются коротышками на болтах, образующими опорную площадку для конькового прогона. Поперечные доски обжимаются парными накладками, соединенными с поясом при помощи колец и придающими ферме необходимую прочность при ее транспортировании и подъеме.

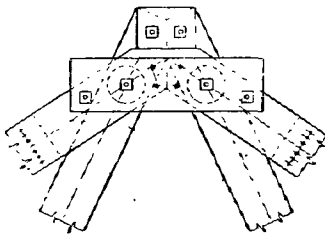
В фермах с углом наклона верхнего пояса не более  $20^\circ$  узел по фиг. 64 не внушает опасений и при одностороннем загрузении фермы, так как



Фиг. 64. Коньковый узел с кольцевыми соединениями

трение, возникающее по торцам верхнего пояса, достаточно для восприятия поперечной силы. При больших углах наклона необходимо принять особые меры против возможного сдвига обеих половин фермы по плоскости торцевого упора.

Для этого достаточно обеспечить жесткую связь поясов с накладками постановкой дополнительных болтов и нагелей (фиг. 65), рассчитываемых на избыток поперечной силы, или придать сопряжению поясов такую форму, которая обеспечивает передачу поперечной силы при любом загрузении фермы; такая конструкция показана на фиг. 20 (поясные брусья врублены взаимно вполдерева).



Фиг. 65. Коньковый узел фермы с кривыми скатами

Если промежуточные узлы фермы выполнены по фиг. 63, то коньковый узел конструируется аналогично узлу на фиг. 65, причем место отсутствующих в коньковом узле досок стоек занимают горизонтальные прокладки, соединяемые с поясами и с раскосами кольцевыми шпонками во всех плоскостях соприкосновения.

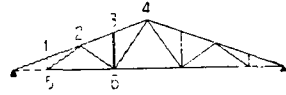
Опорные узлы ферм с восходящими раскосами ничем не отличаются от опорных узлов ферм с нисходящими раскосами (см. выше).

### 3) Треугольные фермы с переменным направлением раскосов

Преимущество ферм с переменным направлением раскосов перед фермами с раскосной решеткой заключается главным образом в том, что благодаря двойной длине панелей нижнего пояса

(фиг. 66) в этих фермах можно назначать раздвижные стыки, позволяющие иногда сократить общее число стыков.

Кроме того в фермах с переменным направлением раскосов количество сильно напряженных элементов решетки почти вдвое меньше, чем в раскосных фермах, что повышает жесткость фермы и улучшает ее внешний вид.

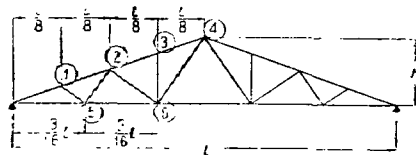


Фиг. 66. Схема треугольной фермы с переменным направлением раскосов

Как правило, в треугольных фермах с переменным направлением раскосов применяются узловое соединения на гладких или зубчатых кольцевых шпонках, соединения же на ножничных врубках не годятся; соединения с вкладышами по типу фиг. 29 хотя и возможны, но обычно получаются неудачными.

Узлы на кольцевых шпонках конструируются по типу фиг. 61 и 63, пригодным при любых углах наклона сопрягаемых элементов решетки. Крепление вспомогательных стоек, несущих местную нагрузку, в поясам может быть осуществлено по типу фиг. 62.

Выше, на фиг. 13—17, изображены детали треугольной фермы с переменным направлением раскосов и местной загрузкой поясов при неравных панелях. Принцип конструирования узлов, положенный в основу решения этой фермы, дает удачную конструкцию и для ферм с переменным направлением раскосов, имеющих восемь панелей, при угле наклона верхнего пояса около  $20^\circ$  (фиг. 67).



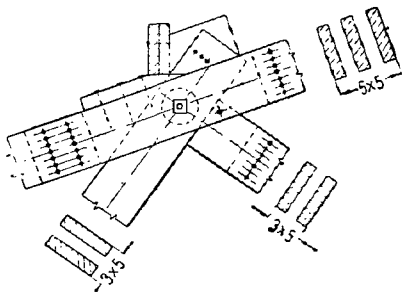
Фиг. 67. Схема треугольной фермы с переменным направлением раскосов и взаимным их пересечением под углом, близким к  $90^\circ$

Если по нижнему поясу фермы назначить по две полураскосных панели от опор, а высоту фермы принять равной  $h = \frac{l}{5,65}$  (фиг. 67), то оба сжатых элемента решетки будут примыкать к обоим растянутым элементам под углом в  $90^\circ$ . Конструкция промежуточных узлов 2, 5, 6 такой фермы может быть осуществлена по фиг. 68 (решетка показана из двух досок, пояс — из трех). Та же конструкция может быть применена для поясов из двух, четырех и более досок. Сжатые раскосы упираются торцами в кромки растянутых раскосов. Последние крепятся к поясу с помощью кольцевых шпонок, нагелей, иногда гвоздей. На соединениях того же типа решается и узел 1. Ферма по типу фиг. 67 может быть применена не только при высоте  $h = \frac{l}{5,65}$ , но и при большей или же меньшей высоте, причем угол между сжатыми и растянутыми элементами может



и не равняться  $90^\circ$ , а быть заданным в пределах от  $75^\circ$  до  $105^\circ$  без какого-либо специального усиления против сдвига упорных площадок раскосов.

В зависимости от того, сколько панелей имеет данная ферма, а также в зависимости от направления первого раскоса получается та или иная схема конькового узла. Конструкция конькового узла в зависимости от его схемы может



Фиг. 68. Узел фермы (к фиг. 67)

быть назначена либо по фиг. 51 и 53 (с нижними узлами средней стойки по фиг. 56 и 59) либо при отсутствии средней стойки по фиг. 64 и 65.

Опорные узлы ферм с перемещением направления раскосов конструируются так же, как и опорные узлы раскосных ферм с аналогичными сечениями поясов (фиг. 40—48).

#### 4) Фермы типа Полонсо

Ферма Полонсо (фиг. 127—135) состоит из двух треугольных опрокинутых ферм, соединенных за средние узлы горизонтальной затяжкой. Каждая из составляющих ферму Полонсо треугольных ферм может иметь различное очертание решетки. Обычно решетка образуется путем последовательного назначения шпренгелей, причем получаются фермы в четыре, восемь и шестнадцать панелей (фиг. 127, 132, 133, 131, 135) или каждая из половин фермы Полонсо представляет собою опрокинутую треугольную ферму с нисходящими раскосами (фиг. 129 и 130).

Эти схемы соответствуют растяжению в раскосах и сжатии в стойках фермы при любом расположении нагрузки.

Узлы ферм Полонсо конструируются обычно по типу фиг. 62 с соединениями на кольцах или на нагелях.

Ввиду большой разницы в усилиях однотипных элементов ферм Полонсо невыгодно назначать одинаковые сечения для симметричных элементов каждой из половин фермы. Поэтому в некоторых случаях приходится применять составные элементы, имеющие с одного конца на одну доску менее, чем с другого. Например в ферме по фиг. 127 или 128 пролетом в 20 м сечения подобраны следующим образом: верхний пояс и элементы  $U_1$  и  $U_2$  нижнего пояса состоят из трех досок, элементы  $D_1$ ,  $U_3$ ,  $U_4$  и  $U_5$  — из двух досок. Все эти элементы взаимно пересекаются так, что доски одного элемента заходят в зазоры встречного. Элемент  $D_2$  приходится у верхнего пояса назначать из двух досок и далее в сопряжении с элементами  $U_3$  —  $U_4$  перейти на одну доску.

Узлы ферм Полонсо, в которых у верхнего пояса пересекаются по два раскоса, решаются обычно путем эксцентричного прикрепления рас-

косов. При желании избежать вредного влияния эксцентричного присоединения раскосов можно применить двойную стойку (фиг. 59).

В фермах Полонсо с крутыми скатами (фиг. 132—135) коньковый узел удобнее всего решается путем сопряжения поясных досок вполдерева аналогично фиг. 20.

Затяжка в этих фермах проще всего присоединяется к узлам с помощью нарных накладок на узлы. Если например в ферме по фиг. 133 элемент  $U_2$  состоит из трех досок, а элемент  $U_3$  — из двух досок, затяжка может быть выполнена из двух досок, охватывающих узел и прикрепляемых к доскам элемента  $U_3$  двумя кольцами.

Опорные узлы этих ферм ввиду наклонного положения нижнего пояса проще всего конструируются по фиг. 42. Иногда узел может быть решен по фиг. 39, в этом случае ферма опирается на подушку соответственно скошенными торцами досок верхнего пояса.

#### 5) Примеры ферм треугольного очертания

1) Треугольная ферма пролетом  $21 \text{ м}$  с нисходящими раскосами и узловыми соединениями на ножничных врубках (фиг. 69—74) является почти безметалловой. Несущими связями этой фермы служат дубовые нагели. Болты в количестве 3% от веса фермы выполняют роль вспомогательных связей.

Соединение ветвей сжатых элементов фермы, обеспечивающее их устойчивость, осуществлено тоже на дубовых нагелях.

Мушкетеры раскосов, имеющие толщину  $50 \text{ мм}$ , врубаются в промежуточных узлах фермы на  $25 \text{ мм}$  в стойку и на  $25 \text{ мм}$  в пояс (фиг. 70 и 71).

Опорный узел фермы (фиг. 72) сконструирован на шкеловой врубке с применением накладок и прокладок одинаковых размеров.

Коньковый узел (фиг. 73) решен трехлобовой врубкой и скреплен вспомогательными накладками на болтах и нагелях.

Средний узел нижнего пояса (фиг. 74) решен аналогично коньковому узлу трехлобовым сопряжением раскосов и стойки. Короткие прокладки нижнего пояса на болтах играют вспомогательную роль, включаясь в работу при наличии на ферме односторонней снеговой нагрузки.

Ферма рассчитана на узловую нагрузку  $2320 \text{ кг}$  и имеет коэффициент собственного веса  $k_{св} = 4,24$ .

Основной недостаток фермы — сложность изготовления ножничных врубок, требующих большой аккуратности и точности.

2) Ферма с восходящими раскосами пролетом  $11,78 \text{ м}$ , несущая нагрузку от кровли и подвесного потолка<sup>2</sup>, имеет в узлах гвоздевые сопряжения (фиг. 75—79).

Стойки входят внутрь поясов, раскосы охватывают пояс снаружи.

Прогоны кровли опираются на специальные накладки (фиг. 76), прибитые гвоздями к стойкам.

Прогоны потолка подвешены к нижнему поясу фермы на металлических хомутах (фиг. 77).

Опорный узел (фиг. 78) имеет шкеловую врубку обычного типа. Хвост врубки недоста-

<sup>1</sup> Проектировка ЦНИПС.

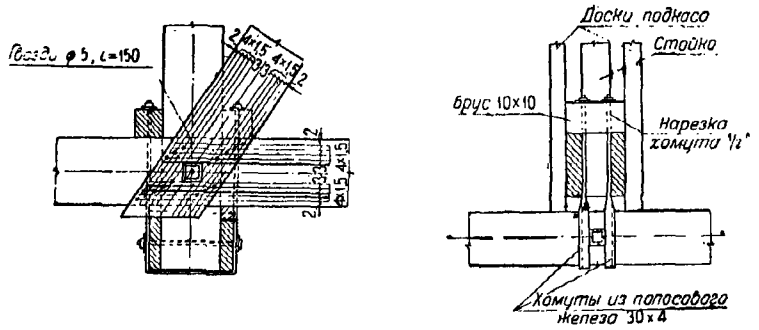
<sup>2</sup> Проектировка Строительпроект.



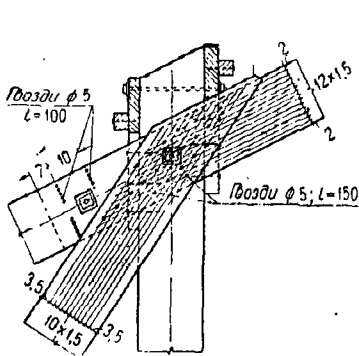




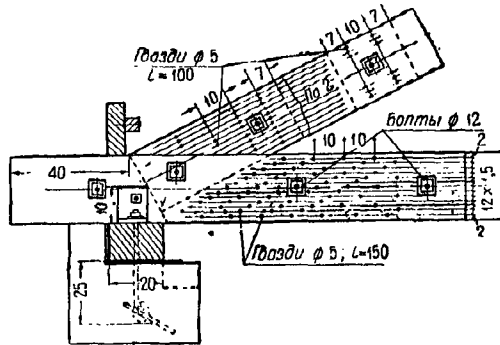
Деталь подвески нижних прогонов



Фиг. 77. Узел нижнего пояса фермы (н фиг. 75)

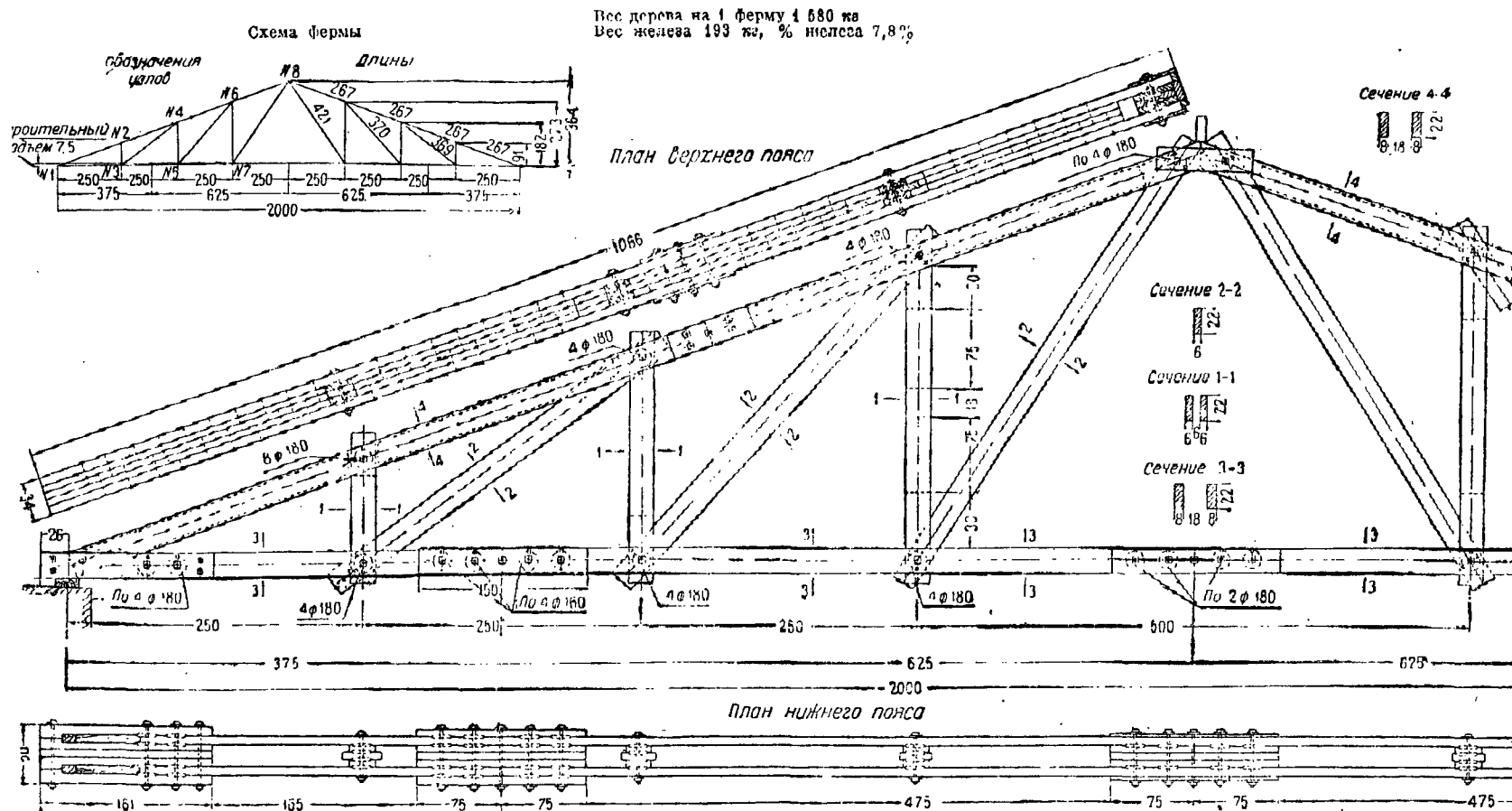


Фиг. 76. Узел верхнего пояса фермы (н фиг. 75)



Фиг. 78. Опорный узел фермы (н фиг. 75)



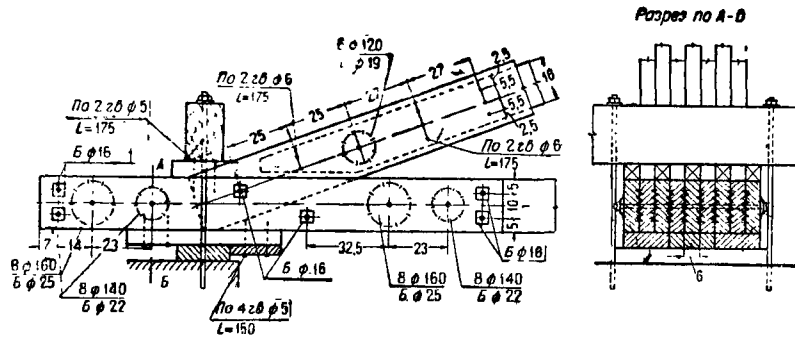


Фиг. 80. Треугольная ферма с восходящими раскосами (проект ЦНИИС).

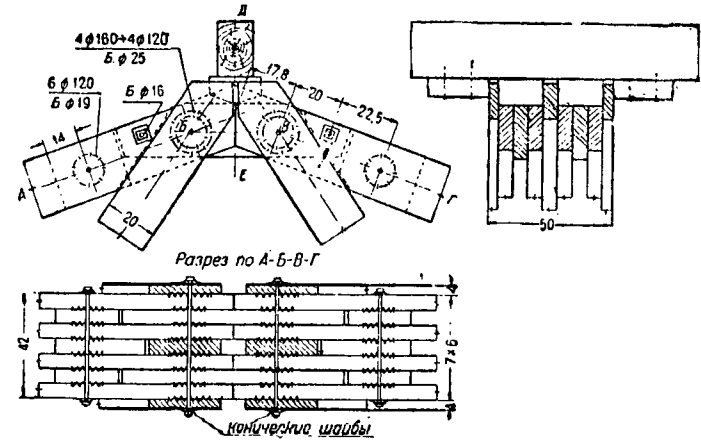






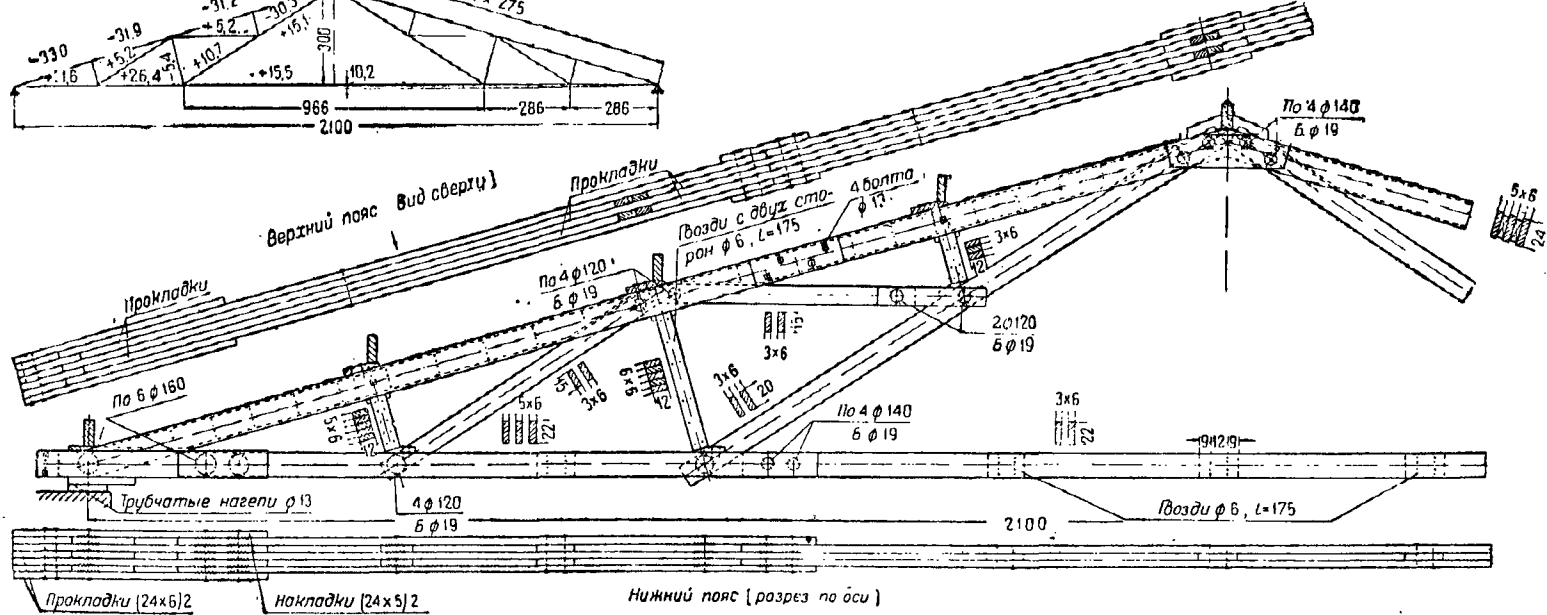
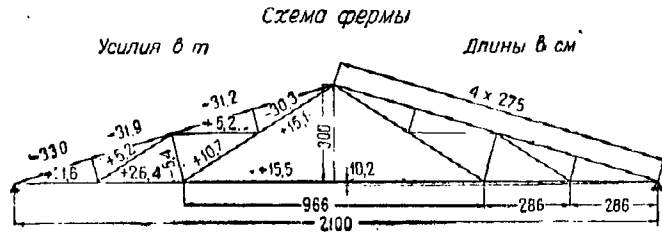


Фиг. 88. Опорный узел фермы (к фиг. 84)



Фиг. 89. Коньковый узел фермы (к фиг. 84)

Вес дерева 1 488 кг. Вес металла 77 кг. Кс. с. = 3,56



Фиг. 90. Ферма Полонсо на зубчато-кольцевых шпонах (студенческий проект, переработанный ЦНИПС)

тивный дефект — нераздвинутый стык нижнего пояса в середине пролета.

4) Ферма с переменным направлением раскосов пролетом 25 м (фиг. 84—89)<sup>1</sup> имеет узловые и стыковые соединения на зубчато-кольцевых шпонках.

Пояса состоят из четырех досок. В середине пролета фермы устроен раздвинутый стык нижнего пояса, где его сечение переходит с четырех досок на три.

В промежуточных узлах фермы (фиг. 85—87) в каждый из зазоров пояса входит одна доска решетки и прикрепляется к поясу двумя кольцами.

В узле № 5 (фиг. 86) нижнего пояса стойка из двух досок передает усилие в узел лобовым упором четырех накладок в промежутке поясных досок.

Опорный узел (фиг. 88) решен биссектрисным сопряжением со вкладышами из сосны, прикрепленными тоже на кольцах.

В коньковом узле (фиг. 89) обе половины фермы соединяются двумя прокладками, расположенными в зазорах между поясными досками.

Зубчато-кольцевые шпонки не использованы в ферме как универсальное соединительное средство в узлах, в стыках и в прокладках верхнего пояса, обеспечивающих его устойчивость.

Ферма несет расчетную нагрузку 3 600 кг на узел и, будучи запроектированной из воздушно-сухого леса, имеет коэффициент собственного веса  $k_{са} = 4,15$ .

5) Ферма типа Полонсо пролетом 24 м (фиг. 90) имеет узловые сопряжения на зубчато-кольцевых шпонках<sup>2</sup>.

Пояса фермы сконструированы из трех досок. Верхний пояс имеет сплошные прокладки на длине двух панелей. Раскосы состоят из двух досок, стойки  $V_1$  и  $V_2$  из пакета в пять досок, стойка  $V_3$  из пакета в три доски. Элементы  $U_3$ ,  $U_4$  и  $U_5$  (фиг. 127) как и раскосы, состоят из двух досок.

Все узлы фермы центрированы кроме узлов верхнего пояса в середине и в четвертях пролета.

Раскосы присоединяются к поясам кольцами, стойки передают на узлы усилия торцевым упором. Для присоединения раскоса  $D_2$  к элементам  $U_3$  и  $U_4$  в раскосе сделан стык с переходом сечения с двух досок на три.

В опорном узле запроектирована совместная работа зубчато-кольцевых шпонок и трубчатых нагелей малого диаметра, присоединяющих упорные вкладыши к накладкам и прокладкам опорного узла.

Ферма несет расчетную нагрузку 2 625 кг на узел и, будучи запроектированной из воздушно-сухого леса, имеет коэффициент собственного веса  $k_{са} = 3,55$ .

### 3. Фермы с параллельными поясами. Двускатные фермы с пологими скатами

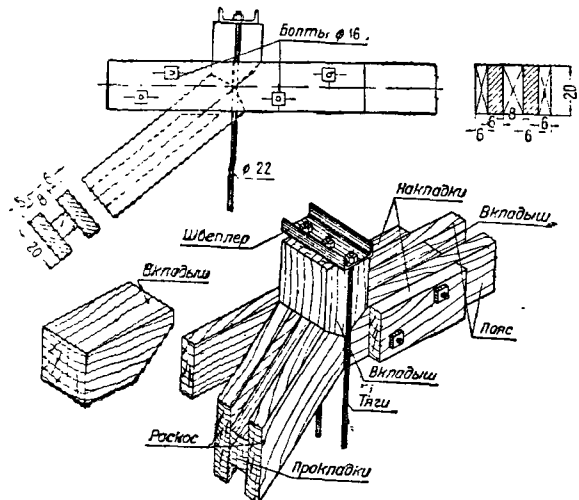
Фермы с параллельными поясами характеризуются значительными усилиями в элементах решетки ближайших к опорам панелей и незначительными усилиями в элементах поясов тех же панелей. Опорные узлы имеют значительный угол при сравнительно небольших усилиях в сходящихся в узле элементах поясов. Двускатные

фермы с пологими скатами (5—10%) мало отличаются от ферм с параллельными поясами. Двускатные фермы с крутыми скатами (20—25%) занимают промежуточное положение между треугольными фермами и фермами с параллельными поясами.

Все эти фермы имеют в конструктивном отношении много общего с рассмотренными выше треугольными фермами.

#### 1) Фермы с восходящими раскосами

Если стойки назначены из круглого железа, то промежуточные узлы таких ферм решаются обычно трехбиссектрисным сопряжением с дубовыми вкладышами (фиг. 27). Узел верхнего пояса, в котором сходится первый наиболее напряженный раскос с наиболее напряженной стойкой, конструируется по тому же принципу, как и остальные промежуточные узлы (фиг. 91). В этом случае опорный узел не составляет исключения и конструируется также трехбиссектрисным сопряжением по фиг. 42.



Фиг. 91. Крайний узел верхнего пояса фермы с параллельными поясами

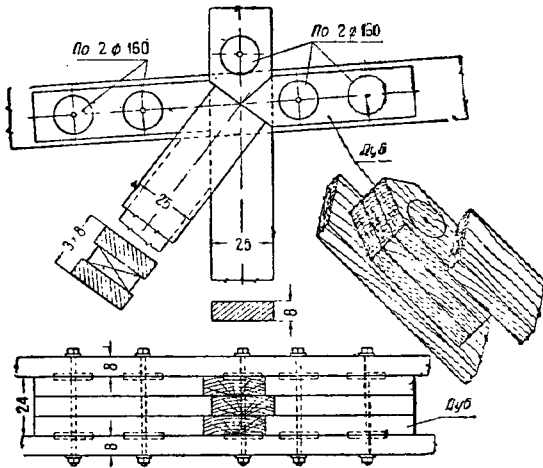
Средний узел верхнего пояса выполняется аналогично узлу на фиг. 54. Если верхний пояс имеет пологий двускатный профиль (угол ската не превышает 5°), то в этом узле делается лобовой стык, обжимаемый с обеих сторон короткими накладками на болтах (фиг. 49). При более крутых скатах, даже при тяжелой постоянной нагрузке, в средних раскосах могут появиться растягивающие усилия, для восприятия которых данная конструкция не приспособлена. Ввиду особой опасности разрушения подобных ферм от односторонней нагрузки всегда следует производить проверку усилий в средних элементах решетки и требовать, чтобы даже от полусторонней временной нагрузки в самом невыгодном (по линиям влияния) положении в раскосах не возникло растягивающих усилий, в противном случае необходимо снабдить средние панели фермы перекрестными диагоналями или обеспечить восприятие как раскосами, так и стойками возможных отрицательных усилий.

Если стойки фермы назначены деревянными, то промежуточные узлы могут быть сконструиро-

<sup>1</sup> Проектировка ЦНИПС.

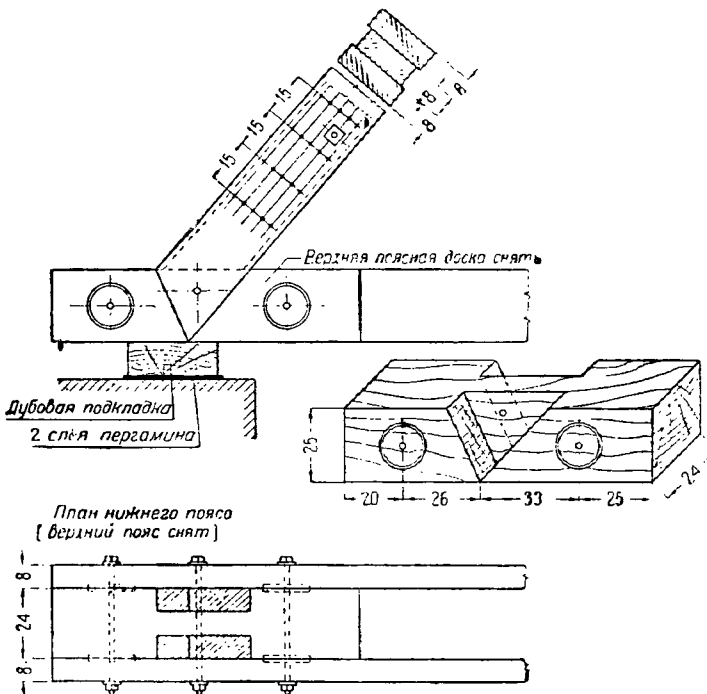
<sup>2</sup> Студенческий проект, дозоботанный ЦНИПС.

ваны либо на вкладышах с нагелями по фиг. 29 и 30 либо на вкладышах с гладкими или, что значительно надежнее, зубчато-кольцевыми шпонами по фиг. 92.



Фиг. 92. Трехлобовое сопряжение с вкладышами на гладко-кольцевых шпонах

Опорные узлы конструируются либо с трехбиссектрисным сопряжением по фиг. 42 либо с биссектрисным сопряжением по фиг. 93.



Фиг. 93. Опорный узел фермы с параллельными поясами

При конструировании узлов ферм с восходящими раскосами и деревянными стойками имеет смысл слабо напряженные элементы решетки у середины пролета фермы соединять по типу узла

на фиг. 31 с сопряжением на кольцах или на нагелях из болтового железа. Это сопряжение весьма желательно, так как оно не только дает прочное соединение слабо напряженных элементов решетки, но и обеспечивает восприятие отрицательных усилий в раскосах и стойках при односторонней нагрузке. На участке с сильно напряженной решеткой (ближе к опорам фермы) сопряжения делаются более мощными со вкладышами из сосны или дуба по фиг. 92 или 30. Оба указанные узловые сопряжения требуют вполне одинакового поперечного сечения поясов, что вполне оправдывает их совместное применение для одной фермы. В фермах с восходящими раскосами и деревянными стойками применимы также ножничные врубки; сопряжения по типу фиг. 31—35 являются в данном случае типовыми. Слабо напряженные элементы решетки ввиду возможности знакопеременного усилия должны крепиться к поясам не ножничной врубкой, а как либо иначе, например с помощью нагелей (фиг. 94).

Опорные узлы этих ферм, так же как и промежуточные, могут быть сконструированы тоже на ножничных врубках, например по фиг. 95. В изображенном узле сильно напряженный раскос соединен с поясом и опорным вкладышем с помощью дубовых мундштуков.

## 2) Фермы с нисходящими раскосами

Фермы этого типа с металлическими раскосами применяются нередко в качестве «светопрозрачных» ферм, т. е. таких, которые в минимальной степени затемняют световые проемы.

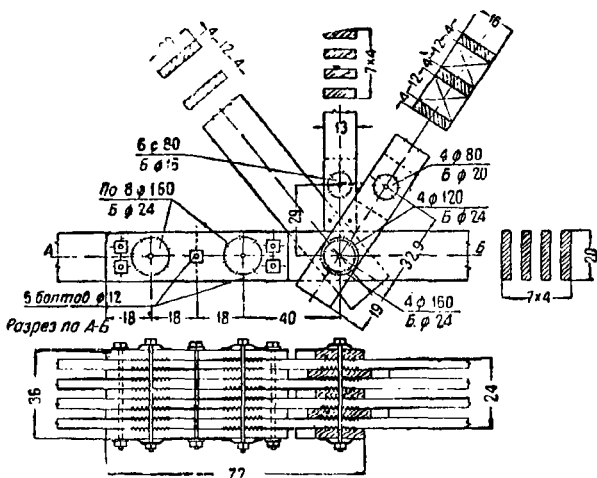
Узлы таких ферм решаются обычным для ферм с тяжами способом трехбиссектрисным сопряжением с дубовыми или сосновыми вкладышами (фиг. 96, стр. 276). Необходимо обращать внимание на постановку по концам тяжей достаточно мощных шайб, чтобы почти вся торцевая площадка вкладыша воспринимала давление от гайки раскоса (фиг. 96).

В двух панелях у середины пролета необходимо ставить перекрестные диагонали на случай одностороннего действия временной нагрузки. Крепление этих добавочных тяжей может быть осуществлено различным. Например в ферме с узлами по фиг. 96 тяжи могут быть пропущены через среднюю доску пояса и закреплены с помощью подкладки (пунктир на фиг. 96).

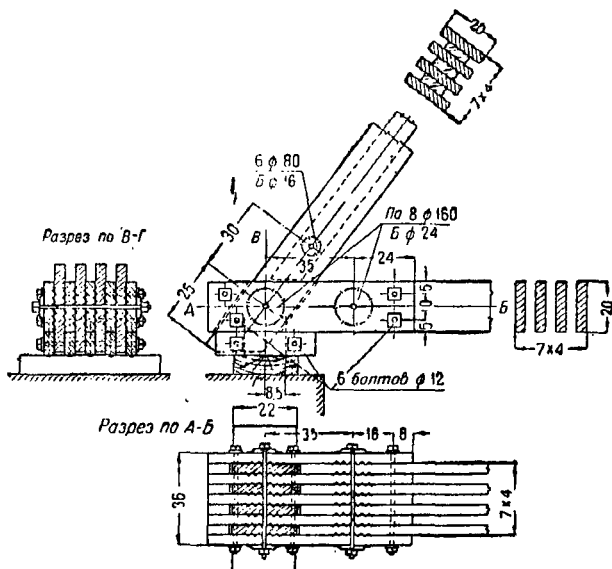
Фермы с нисходящими раскосами могут быть запроектированы также и с деревянными раскосами. Узлы таких ферм конструируются либо с кольцевыми соединениями (фиг. 61 или 62) либо с дубовыми или сосновыми вкладышами (фиг. 29, 30).

В экономическом отношении фермы с нисходящими раскосами стоят ниже ферм с восходящими раскосами, почему и находят лишь ограниченное применение.





Фиг. 98. Узел фермы на зубчато-кольцевых шпонках



Фиг. 99. Опорный узел фермы на зубчато-кольцевых шпонках.

















Стойки имеют торцевые упоры в кромку нижнего пояса и кольцевые сопряжения с верхним поясом.

Опорные узлы решены биссектрисным сопряжением с применением дубовых упорных вкладышей. Биссектрисное сопряжение применено здесь неудачно ввиду большого угла наклона раскоса к поясу. Наличие дубовых вкладышей вполне допускало применение сопряжения, ортогонального к раскосу.

Нецентрированный узел также должен быть отнесен к недостаткам данной фермы.

Однако основным пороком этой фермы является не вызываемое необходимостью прилежание узловых сопряжений на гладко-кольцевых шпонках, особенно нежелательных в присоединениях мощных растянутых раскосов. Надежность фермы в целом обеспечена недостаточно.

г) Двускатная ферма<sup>1</sup> пролетом 20,32 м с восходящими раскосами (фиг. 114) имеет узловые и стыковые сопряжения на гладко-кольцевых шпонках.

Большинство узлов решено трехбиссектрисным сопряжением с вкладышами, присоединенными на кольцевых шпонках.

Средние панели верхнего пояса имеют сплошные прокладки во всю длину панели.

В стыках нижнего пояса стыковые прокладки сделаны вдвое длиннее стыковых накладок и имеют по два кольца на конец. Таким образом в месте наибольшего ослабления поясных досок кольцами с обеих сторон поясные доски несут только  $\frac{2}{3}$  от расчетного усилия. Это позволяет считать двустороннее ослабление досок неопасным для целостности конструкции.

Основной недостаток этой фермы тот же, что и предыдущей.

#### 4. Многоугольные фермы сегментного очертания

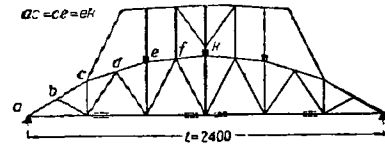
Простота конструкции сегментных ферм объясняется тем, что благодаря их криволинейному очертанию в элементах решетки возникают лишь незначительные усилия, позволяющие прикреплять их к поясу без центровки в узле. Если отказаться от изготовления криволинейного пояса из пакета гнутых брусков и придать ферме многоугольное ломаное очертание, вписанное в окружность или параболу, то получится многоугольная ферма сегментного очертания, могущая в некоторых случаях конкурировать с сегментной фермой, имеющей гнутый пояс.

##### 1) Фермы с трапециевидным фонарем

Наличие на сегментной ферме трапециевидного фонаря превращает изогнутое очертание ее верхнего пояса из достоинства в недостаток. Для уменьшения происходящих от кривизны пояса изгибающих моментов ферма иногда снабжается дополнительной шпренгельной решеткой, что все же не избавляет от необходимости соединять бруски верхнего пояса solidным гвоздевым забоем.

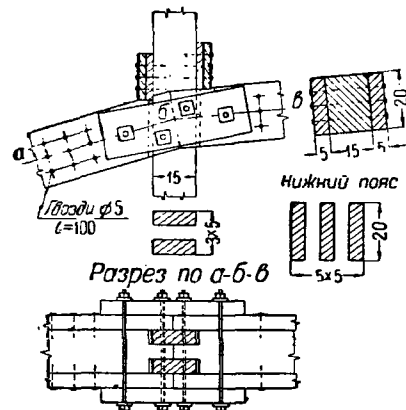
Ферма с ломаным верхним поясом по типу фиг. 115—119<sup>2</sup> получается экономичнее соответствующей сегментной фермы. Верхнему поясу такой

фермы выгодно придать сечение из бруса с двумя дощатыми нашивками (фиг. 116). В пересечении пояса с раскосами и стойками в бруске выбираются соответствующие пазы для пропуска досок раскосов и стоек. Узлы верхнего пояса решаются по типу фиг. 116, опорные узлы — так же, как и в сегментных фермах.



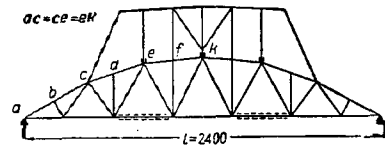
Фиг. 115. Схема многоугольной фермы с переломами в узлах стоек

Схема фермы по фиг. 115 имеет тот недостаток, что по нижнему поясу приходится делать много стыков. Если направление раскосов переменить на обратное, то получится схема фиг. 117, дающая возможность применить раздвинутые стыки и сократить их число с четырех до двух на ферму.



Фиг. 116. Узел верхнего пояса фермы (к фиг. 115)

По схеме фиг. 117 переломы верхнего пояса приходится на узлы, содержащие раскосы. Эти узлы конструируются аналогично предыдущим по фиг. 118. Особенностью этих узлов является необходимость обеспечить в узле передачу поперечной силы, имеющей место главным образом

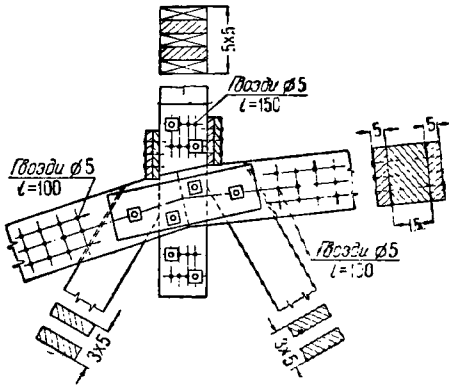


Фиг. 117. Схема многоугольной фермы с переломами в узлах раскосов.

при односторонней нагрузке. Проще всего эта задача решается путем нашивки на стойку сверху и снизу коротышей, упертых в кромки поясных досок и соединенных со стойкой гвоздями и болтами.

<sup>1</sup> Проектирована Моспроекта.  
<sup>2</sup> Предложена автором.

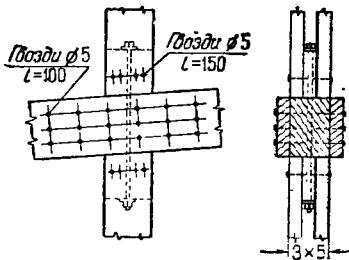
Сопряжение стоек с верхним поясом делается в этом случае торцевым упором досок стоек в кромки поясных брусьев, крепление их может быть осуществлено по фиг. 119 с помощью болта и двух коротышей, к которым концы стоек прибиваются несколькими гвоздями уже после того, как коротыши посажены на болт. Благодаря



Фиг. 118. Узел верхнего пояса фермы (к фиг. 117)

такому соединению пояс не ослабляется в середине его рабочей длины между узлами перелома, что позволяет при расчете на продольный изгиб включать средний брус в рабочее сечение элемента.

При сравнении многоугольных ферм с сегментными фермами с гнутым поясом необходимо учесть, что в противовес логической целесообразности и экономичности ферм с ломаным поясом фермы



Фиг. 119. Узел верхнего пояса фермы (к фиг. 117)

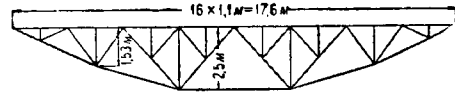
с гнутым поясом обладают другим большим достоинством — монолитностью, значительно облегчающей маневрирование при их подъеме и установке ферм на место. Поэтому предпочтительность ферм того или иного типа до настоящего времени является спорной.

2) Фермы под односкатную кровлю

Односкатные фермы по схеме фиг. 120<sup>1</sup> являются опрокинутыми многоугольными фермами сегментного очертания. Ломаный пояс может быть вписан в параболу или в окружность.

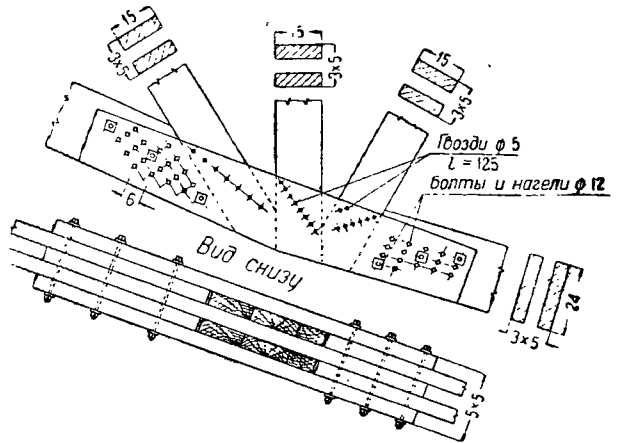
<sup>1</sup> Предложены инж. Загряжским А. А.

В каждом переломе нижнего пояса фермы должен быть сделан стык накладками и прокладками, к которым крепятся элементы решетки (фиг. 121). Гвоздевое или нагельное соединение накладок и прокладок с поясными досками дол-



Фиг. 120. Схема опрокинутой многоугольной фермы.

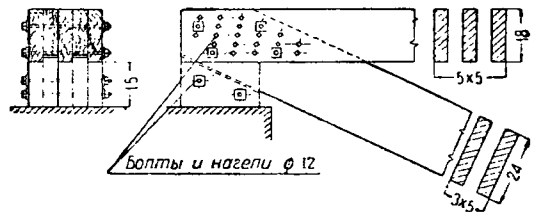
жно быть рассчитано кроме усилия в нижнем поясе еще и на поперечную силу от одностороннего нагружения фермы. Шаг нагелей желательнее против показанного на фиг. 121 несколько увеличить.



Фиг. 121. Узел и стык нижнего пояса фермы (к фиг. 120)

Опорный узел такой фермы обычно удается решить простым нагельным сопряжением досок (фиг. 122).

Сравнение опрокинутых многоугольных ферм с сегментными фермами с надстройкой показывает большую экономичность опрокинутых ферм, достигающую до 30% стоимости фермы.

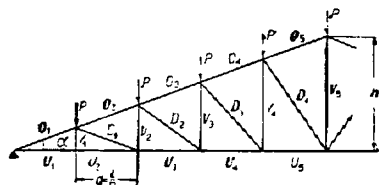


Фиг. 122. Опорный узел фермы (к фиг. 120)

Можно ожидать, что в дальнейшем опрокинутые многоугольные фермы получат некоторое распространение для односкатных покрытий промышленных зданий взамен применяемых в настоящее время сегментных ферм с надстройкой.

5. Усилия в стержнях балочных ферм

Таблица 1

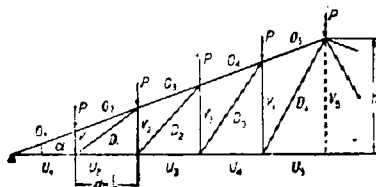


Фиг. 123. Схема фермы

Усилия в стержнях треугольных ферм с нисходящими раскосами от единичной нагрузки во всех узлах фермы

| Угол на опоре $\alpha = 20^\circ$ ( $h = \frac{l}{5,49}$ ) |                         |       |        |        | Угол на опоре $\alpha = 30^\circ$ ( $h = \frac{l}{3,47}$ ) |                         |       |       |        |
|--|-------------------------|-------|--------|--------|--|-------------------------|-------|-------|--------|
| элементы   | число панелей в ферме n |       |        |        | элементы   | число панелей в ферме n |       |       |        |
|  | n = 4                   | n = 6 | n = 8  | n = 10 |  | n = 4                   | n = 6 | n = 8 | n = 10 |
| $O_1$  | -4,33                   | -7,31 | -10,23 | -13,15 | $O_1$  | -3,00                   | -5,00 | -7,00 | -9,00  |
| $O_2$  | -2,92                   | -5,85 | -8,77  | -11,69 | $O_2$  | -2,00                   | -4,00 | -6,00 | -8,00  |
| $O_3$  | —                       | -4,39 | -7,31  | -10,23 | $O_3$  | —                       | -3,00 | -5,00 | -7,00  |
| $O_4$  | —                       | —     | -5,85  | -8,77  | $O_4$  | —                       | —     | -4,00 | -6,00  |
| $O_5$  | —                       | —     | —      | -7,31  | $O_5$  | —                       | —     | —     | -5,00  |
| $U_1$  | +4,12                   | +6,56 | +9,60  | +12,34 | $U_1$  | +2,60                   | +4,33 | +6,06 | +7,79  |
| $U_2$  | +4,12                   | +6,56 | +9,60  | +12,34 | $U_2$  | +2,60                   | +4,33 | +6,06 | +7,79  |
| $U_3$  | —                       | +5,49 | +8,23  | +10,97 | $U_3$  | —                       | +3,46 | +5,20 | +6,92  |
| $U_4$  | —                       | —     | +6,86  | +9,60  | $U_4$  | —                       | —     | +4,33 | +6,06  |
| $U_5$  | —                       | —     | —      | +8,23  | $U_5$  | —                       | —     | —     | +5,20  |
| $V_1$  | 0                       | 0     | 0      | 0      | $V_1$  | 0                       | 0     | 0     | 0      |
| $V_2$  | +1,00                   | +0,50 | +0,50  | +0,50  | $V_2$  | +1,00                   | +0,50 | +0,50 | +0,50  |
| $V_3$  | —                       | +2,00 | +1,00  | +1,00  | $V_3$  | —                       | +2,00 | +1,00 | +1,00  |
| $V_4$  | —                       | —     | +3,00  | +1,50  | $V_4$  | —                       | —     | +3,00 | +1,50  |
| $V_5$  | —                       | —     | —      | +4,00  | $V_5$  | —                       | —     | —     | +4,00  |
| $D_1$  | -1,46                   | -1,46 | -1,46  | -1,46  | $D_1$  | -1,00                   | -1,00 | -1,00 | -1,00  |
| $D_2$  | —                       | -1,70 | -1,70  | -1,70  | $D_2$  | —                       | -1,32 | -1,32 | -1,32  |
| $D_3$  | —                       | —     | -2,04  | -2,04  | $D_3$  | —                       | —     | -1,73 | -1,73  |
| $D_4$  | —                       | —     | —      | -2,43  | $D_4$  | —                       | —     | —     | -2,18  |

Примечание. При нагрузке понизу к усилиям во всех стойках добавляется +1.



Фиг. 124. Схема фермы

Таблица 2

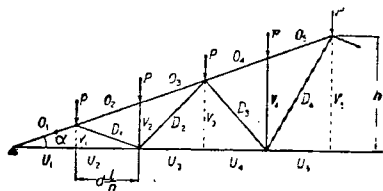
Усилия в стержнях треугольных ферм с восходящими раскосами от единичной нагрузки во всех узлах фермы

| Угол на опоре $\alpha = 20^\circ$ ( $h = \frac{l}{5,49}$ ) |                         |       |        |        | Угол на опоре $\alpha = 30^\circ$ ( $h = \frac{l}{3,47}$ ) |                         |       |       |        |
|--|-------------------------|-------|--------|--------|--|-------------------------|-------|-------|--------|
| элементы   | число панелей в ферме n |       |        |        | элементы   | число панелей в ферме n |       |       |        |
|  | n = 4                   | n = 6 | n = 8  | n = 10 |  | n = 4                   | n = 6 | n = 8 | n = 10 |
| $O_1$  | -4,38                   | -7,31 | -10,23 | -13,15 | $O_1$  | -3,00                   | -5,00 | -7,00 | -9,00  |
| $O_2$  | -4,38                   | -7,31 | -10,23 | -13,15 | $O_2$  | -3,00                   | -5,00 | -7,00 | -9,00  |
| $O_3$  | —                       | -5,55 | -8,77  | -11,69 | $O_3$  | —                       | -4,00 | -6,00 | -8,00  |
| $O_4$  | —                       | —     | -7,31  | -10,23 | $O_4$  | —                       | —     | -5,00 | -7,00  |
| $O_5$  | —                       | —     | —      | -8,77  | $O_5$  | —                       | —     | —     | -6,00  |
| $U_1$  | +4,12                   | +6,86 | +9,60  | +12,34 | $U_1$  | +2,60                   | +4,33 | +6,06 | +7,79  |
| $U_2$  | +2,75                   | +5,49 | +8,23  | +10,97 | $U_2$  | +1,74                   | +3,46 | +5,20 | +6,92  |
| $U_3$  | —                       | +4,12 | +6,86  | +9,60  | $U_3$  | —                       | +2,60 | +4,33 | +6,06  |
| $U_4$  | —                       | —     | +5,49  | +8,23  | $U_4$  | —                       | —     | +3,46 | +5,20  |
| $U_5$  | —                       | —     | —      | +6,86  | $U_5$  | —                       | —     | —     | +4,33  |
| $V_1$  | -1,00                   | -1,00 | -1,00  | -1,00  | $V_1$  | -1,00                   | -1,00 | -1,00 | -1,00  |
| $V_2$  | 0                       | -1,50 | -1,50  | -1,50  | $V_2$  | 0                       | -1,50 | -1,50 | -1,50  |
| $V_3$  | —                       | 0     | -2,00  | -2,00  | $V_3$  | —                       | 0     | -2,00 | -2,00  |
| $V_4$  | —                       | —     | 0      | -2,50  | $V_4$  | —                       | —     | 0     | -2,50  |
| $V_5$  | —                       | —     | —      | 0      | $V_5$  | —                       | —     | —     | 0      |
| $D_1$  | +1,70                   | +1,70 | +1,70  | +1,70  | $D_1$  | +1,32                   | +1,32 | +1,32 | +1,32  |
| $D_2$  | —                       | +2,04 | +2,04  | +2,04  | $D_2$  | —                       | +1,73 | +1,73 | +1,73  |
| $D_3$  | —                       | —     | +2,43  | +2,43  | $D_3$  | —                       | —     | +2,18 | +2,18  |
| $D_4$  | —                       | —     | —      | +2,86  | $D_4$  | —                       | —     | —     | +2,65  |

Примечание. При нагрузке понизу к усилиям во всех стойках прибавляется +1.



Таблица 3



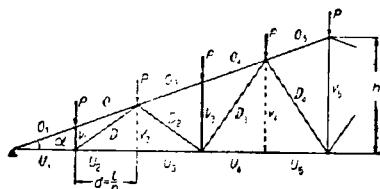
Фиг. 125. Схема фермы

Условия в стержнях треугольных ферм с переменным направлением раскосов от единичной нагрузки во всех узлах фермы

| Угол на опоре $\alpha = 20^\circ \left( h = \frac{l}{5,49} \right)$ |                         |       |        | Угол на опоре $\alpha = 36^\circ \left( h = \frac{l}{3,47} \right)$ |                         |       |        |
|---|-------------------------|-------|--------|---|-------------------------|-------|--------|
| элементы  | число панелей в ферме n |       |        | элементы  | число панелей в ферме n |       |        |
|   | n = 6                   | n = 8 | n = 10 |   | n = 6                   | n = 8 | n = 10 |
| O <sub>1</sub>  | -7,31                   | -1,23 | -13,15 | O <sub>1</sub>  | -5,00                   | -7,00 | -9,00  |
| O <sub>2</sub>  | -5,85                   | -8,77 | -11,69 | O <sub>2</sub>  | -4,00                   | -6,00 | -8,00  |
| O <sub>3</sub>  | -5,85                   | -8,77 | -11,69 | O <sub>3</sub>  | -4,00                   | -6,00 | -8,00  |
| O <sub>4</sub>  | -                       | -5,85 | -8,77  | O <sub>4</sub>  | -                       | -4,00 | -6,00  |
| O <sub>5</sub>  | -                       | -     | -8,77  | O <sub>5</sub>  | -                       | -     | -6,00  |
| U <sub>1</sub>  | +6,86                   | +9,60 | +12,34 | U <sub>1</sub>  | +4,33                   | +6,06 | +7,79  |
| U <sub>2</sub>  | +6,86                   | +9,00 | +12,34 | U <sub>2</sub>  | +4,33                   | +6,06 | +7,79  |
| U <sub>3</sub>  | +4,12                   | +6,86 | +9,60  | U <sub>3</sub>  | +2,60                   | +4,33 | +6,06  |
| U <sub>4</sub>  | -                       | +6,86 | +9,60  | U <sub>4</sub>  | -                       | +4,33 | +6,06  |
| U <sub>5</sub>  | -                       | -     | +6,86  | U <sub>5</sub>  | -                       | -     | +4,33  |
| V <sub>1</sub>  | 0                       | 0     | 0      | V <sub>1</sub>  | 0                       | 0     | 0      |
| V <sub>2</sub>  | -1,00                   | -1,00 | -1,00  | V <sub>2</sub>  | -1,00                   | -1,00 | -1,00  |
| V <sub>3</sub>  | 0                       | 0     | 0      | V <sub>3</sub>  | 0                       | 0     | 0      |
| V <sub>4</sub>  | -                       | +3,00 | -1,00  | V <sub>4</sub>  | -                       | +3,00 | -1,00  |
| V <sub>5</sub>  | -                       | -     | 0      | V <sub>5</sub>  | -                       | -     | 0      |
| D <sub>1</sub>  | -1,46                   | -1,46 | -1,46  | D <sub>1</sub>  | -1,00                   | -1,00 | -1,00  |
| D <sub>2</sub>  | +2,04                   | +2,04 | +2,04  | D <sub>2</sub>  | +1,73                   | +1,73 | +1,73  |
| D <sub>3</sub>  | -                       | -2,04 | -2,04  | D <sub>3</sub>  | -                       | -1,73 | -1,73  |
| D <sub>4</sub>  | -                       | -     | +2,86  | D <sub>4</sub>  | -                       | -     | +2,65  |

Примечания: 1. При нагрузке снизу к усилиям во всех стойках (при условии, если стойки имеются во всех узлах) прибавляется +1.

2. Схемы ферм с меньшим числом панелей, чем указано на фиг. 125, образуются путем выбрасывания панелей из середины пролета фермы.



Фиг. 126. Схема фермы

Таблица 4

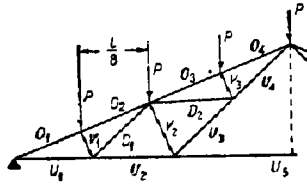
| Угол на опоре $\alpha = 20^\circ \left( h = \frac{l}{5,49} \right)$ |                         |        |        | Угол на опоре $\alpha = 36^\circ \left( h = \frac{l}{3,47} \right)$ |                         |       |        |
|---|-------------------------|--------|--------|---|-------------------------|-------|--------|
| элементы  | число панелей в ферме n |        |        | элементы  | число панелей в ферме n |       |        |
|   | n = 6                   | n = 8  | n = 10 |   | n = 6                   | n = 8 | n = 10 |
| O <sub>1</sub>  | -7,31                   | -10,23 | -13,15 | O <sub>1</sub>  | -5,00                   | -7,00 | -9,00  |
| O <sub>2</sub>  | -7,31                   | -10,23 | -13,15 | O <sub>2</sub>  | -5,00                   | -7,00 | -9,00  |
| O <sub>3</sub>  | -4,39                   | -7,31  | -10,23 | O <sub>3</sub>  | -3,00                   | -5,00 | -7,00  |
| O <sub>4</sub>  | -                       | -7,31  | -10,23 | O <sub>4</sub>  | -                       | -5,00 | -7,00  |
| O <sub>5</sub>  | -                       | -      | -7,31  | O <sub>5</sub>  | -                       | -     | -5,00  |
| U <sub>1</sub>  | +6,86                   | +9,60  | +12,34 | U <sub>1</sub>  | +4,33                   | +6,06 | +7,79  |
| U <sub>2</sub>  | +5,49                   | +8,23  | +10,97 | U <sub>2</sub>  | +3,46                   | +5,20 | +6,92  |
| U <sub>3</sub>  | +5,49                   | +8,23  | +10,97 | U <sub>3</sub>  | +3,46                   | +5,20 | +6,92  |
| U <sub>4</sub>  | -                       | +5,49  | +8,23  | U <sub>4</sub>  | -                       | +3,46 | +5,20  |
| U <sub>5</sub>  | -                       | -      | +8,23  | U <sub>5</sub>  | -                       | -     | +5,20  |
| V <sub>1</sub>  | -1,00                   | -1,00  | -1,00  | V <sub>1</sub>  | -1,00                   | -1,00 | -1,00  |
| V <sub>2</sub>  | 0                       | 0      | 0      | V <sub>2</sub>  | 0                       | 0     | 0      |
| V <sub>3</sub>  | +2,00                   | -1,00  | -1,00  | V <sub>3</sub>  | +2,00                   | -1,00 | -1,00  |
| V <sub>4</sub>  | -                       | 0      | 0      | V <sub>4</sub>  | -                       | 0     | 0      |
| V <sub>5</sub>  | -                       | -      | +4,00  | V <sub>5</sub>  | -                       | -     | +4,00  |
| D <sub>1</sub>  | +1,70                   | +1,70  | +1,70  | D <sub>1</sub>  | +1,32                   | +1,32 | +1,32  |
| D <sub>2</sub>  | +1,70                   | +1,70  | +1,70  | D <sub>2</sub>  | +1,32                   | +1,32 | +1,32  |
| D <sub>3</sub>  | -                       | +2,43  | +2,43  | D <sub>3</sub>  | -                       | +2,18 | +2,18  |
| D <sub>4</sub>  | -                       | -      | +2,43  | D <sub>4</sub>  | -                       | -     | +2,18  |

Примечания: 1. При нагрузке снизу к усилиям во всех стойках (при условии, если стойки имеются во всех узлах) прибавляется +1.

2. Схемы ферм с меньшим числом панелей, чем указано на фиг. 126, образуются путем выбрасывания панелей из середины пролета фермы.

Таблица 5

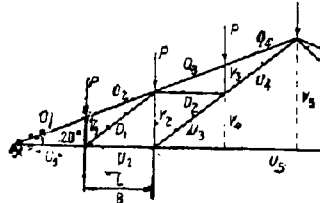
Усилия в стержнях ферм Полломео от вертикальной нагрузки во всех узлах фермы <sup>1</sup>



Фиг. 127. Схема фермы

| Элементы       | Усилия  | Элементы       | Усилия | Элементы       | Усилия | Элементы       | Усилия |
|----------------|---------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| O <sub>1</sub> | - 10,49 | U <sub>1</sub> | + 9,74 | V <sub>1</sub> | - 0,94 | D <sub>1</sub> | + 1,39 |
| O <sub>2</sub> | - 10,04 | U <sub>2</sub> | + 8,35 | V <sub>2</sub> | - 1,88 | D <sub>2</sub> | + 1,39 |
| O <sub>3</sub> | - 8,69  | U <sub>3</sub> | + 2,57 | V <sub>3</sub> | - 0,94 |                |        |
| O <sub>4</sub> | - 8,35  | U <sub>4</sub> | + 4,26 |                |        |                |        |
|                |         | U <sub>5</sub> | + 5,50 |                |        |                |        |

Таблица 6

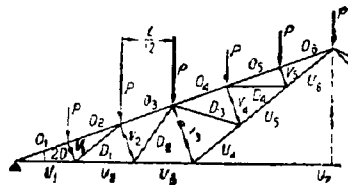


Фиг. 128. Схема фермы

| Элементы       | Усилия  | Элементы       | Усилия | Элементы       | Усилия | Элементы       | Усилия |
|----------------|---------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| O <sub>1</sub> | - 10,40 | U <sub>1</sub> | + 9,76 | V <sub>1</sub> | - 1,00 | D <sub>1</sub> | + 1,72 |
| O <sub>2</sub> | - 10,40 | U <sub>2</sub> | + 8,37 | V <sub>2</sub> | - 2,00 | D <sub>2</sub> | + 1,39 |
| O <sub>3</sub> | - 10,40 | U <sub>3</sub> | + 3,54 | V <sub>3</sub> | - 1,00 |                |        |
| O <sub>4</sub> | - 10,40 | U <sub>4</sub> | + 5,29 | V <sub>4</sub> | 0      |                |        |
|                |         | U <sub>5</sub> | + 5,50 | V <sub>5</sub> | 0      |                |        |

Примечание. При нагрузке понизу к усилиям во всех стойках (если стойки имеются во всех узлах) прибавляется +1.

Таблица 7



Фиг. 129. Схема фермы

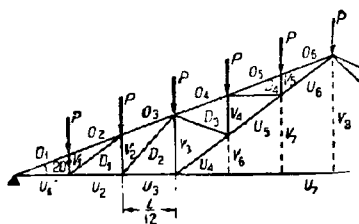
| Элементы       | Усилия | Элементы       | Усилия | Элементы       | Усилия | Элементы       | Усилия |
|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| O <sub>1</sub> | - 16,3 | U <sub>1</sub> | + 15,3 | V <sub>1</sub> | - 0,9  | D <sub>1</sub> | + 1,4  |
| O <sub>2</sub> | - 16,0 | U <sub>2</sub> | + 14,9 | V <sub>2</sub> | - 1,4  | D <sub>2</sub> | + 1,6  |
| O <sub>3</sub> | - 14,4 | U <sub>3</sub> | + 12,5 | V <sub>3</sub> | - 2,8  | D <sub>3</sub> | + 1,6  |
| O <sub>4</sub> | - 14,0 | U <sub>4</sub> | + 4,3  | V <sub>4</sub> | - 1,4  | D <sub>4</sub> | + 1,4  |
| O <sub>5</sub> | - 15,0 | U <sub>5</sub> | + 5,7  | V <sub>5</sub> | - 0,9  |                |        |
| O <sub>6</sub> | - 14,6 | U <sub>6</sub> | + 7,1  |                |        |                |        |
|                |        | U <sub>7</sub> | + 8,2  |                |        |                |        |

<sup>1</sup> По материалам ЦНИПС.

## БАЛОЧНЫЕ ФЕРМЫ

Таб

Усилия в стержнях ферм Полосо от вертикальной нагрузки во всех узлах ферм <sup>1</sup>

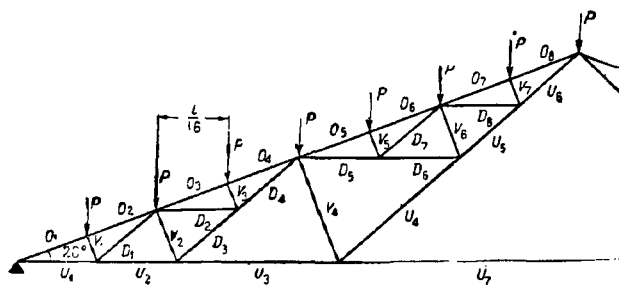


Фиг. 130. Схема фермы

| Элементы | Усилия | Элементы | Усилия | Элементы | Усилия | Элементы | Усилия |
|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| $O_1$    | -16,35 | $U_1$    | +15,33 | $V_1$    | -1,00  | $D_1$    | +1,72  |
| $O_2$    | -16,35 | $U_2$    | +13,94 | $V_2$    | -1,50  | $D_2$    | +2,06  |
| $O_3$    | -14,86 | $U_3$    | +12,55 | $V_3$    | -3,00  | $D_3$    | +1,40  |
| $O_4$    | -14,86 | $U_4$    | +5,31  | $V_4$    | -1,50  | $D_4$    | +1,39  |
| $O_5$    | -16,35 | $U_5$    | +7,05  | $V_5$    | -1,00  |          |        |
| $O_6$    | -16,35 | $U_6$    | +8,76  | $V_6$    | 0      |          |        |
|          |        | $U_7$    | +8,25  | $V_7$    | 0      |          |        |
|          |        |          |        | $V_8$    | 0      |          |        |

Примечание. При нагрузке пополю и усилиям во всех стойках (если стойки имеются во всех узлах) прибавляется +1.

Таблица 9



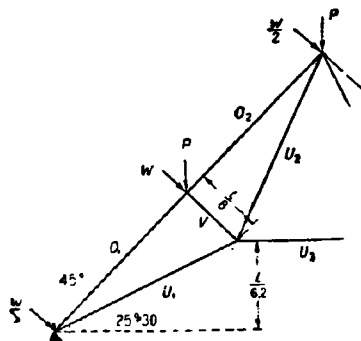
Фиг. 131. Схема фермы

| Элементы | Усилия | Элементы | Усилия | Элементы | Усилия | Элементы | Усилия |
|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| $O_1$    | -22,3  | $U_1$    | +20,9  | $V_1$    | -0,9   | $D_1$    | +1,4   |
| $O_2$    | -21,9  | $U_2$    | +19,5  | $V_2$    | -1,9   | $D_2$    | +1,4   |
| $O_3$    | -21,6  | $U_3$    | +16,8  | $V_3$    | -0,9   | $D_3$    | +2,8   |
| $O_4$    | -21,2  | $U_4$    | +5,8   | $V_4$    | -3,8   | $D_4$    | +4,2   |
| $O_5$    | -20,9  | $U_5$    | +8,5   | $V_5$    | -0,9   | $D_5$    | +4,2   |
| $O_6$    | -20,5  | $U_6$    | +9,9   | $V_6$    | -1,9   | $D_6$    | +2,8   |
| $O_7$    | -20,1  | $U_7$    | +11,0  | $V_7$    | -0,9   | $D_7$    | +1,4   |
| $O_8$    | -19,8  |          |        |          |        | $D_8$    | +1,4   |

<sup>1</sup> По материалам ЦИИИС.

Таблица 10

Усилия в стержнях ферм Полонсо от вертикальной нагрузки во всех узлах фермы и от ветра<sup>1</sup>

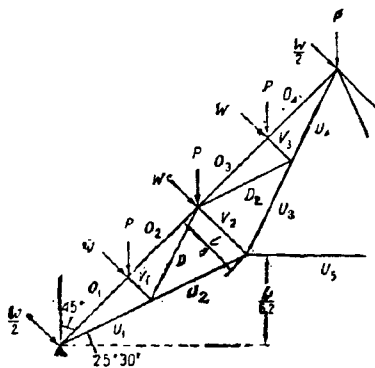


Фиг. 132. Схема фермы

| Элементы       | Вертикальная нагрузка | Ветер слева      | Ветер справа     | Элементы       | Вертикальная нагрузка | Ветер слева      | Ветер справа     |
|----------------|-----------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------------|------------------|------------------|
| O <sub>1</sub> | - 4,0P                | - 2,4W<br>- 1,9W | - 0,5W<br>+ 1,9W | U <sub>1</sub> | + 3,1P                | + 3,0W<br>+ 1,5W | - 1,5W<br>0      |
| O <sub>2</sub> | - 3,3P                | - 2,4W<br>- 1,9W | - 0,5W<br>+ 1,9W | U <sub>2</sub> | + 2,1P                | + 2,3W<br>+ 0,7W | - 0,7W<br>+ 0,8W |
| V              | - 0,7P                | - 1,0W           | 0                | U <sub>3</sub> | + 0,7P                | + 1,0W           | - 1,0W           |

Примечание. Цифры в знаменателе относятся к правой половине фермы, имеющей подвижную опору.

Таблица 11



Фиг. 133. Схема фермы

| Элементы       | Вертикальная нагрузка | Ветер слева      | Ветер справа     | Элементы       | Вертикальная нагрузка | Ветер слева      | Ветер справа     |
|----------------|-----------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------------|------------------|------------------|
| O <sub>1</sub> | - 9,5P                | - 6,0W<br>- 3,8W | - 0,1W<br>- 2,4W | U <sub>1</sub> | + 7,4P                | + 7,4W<br>+ 3,6W | - 3,6W<br>+ 1,5W |
| O <sub>2</sub> | - 8,7P                | - 6,0W<br>- 3,8W | - 0,2W<br>- 2,4W | U <sub>2</sub> | + 6,3P                | + 5,9W<br>+ 3,6W | - 3,6W<br>0      |
| O <sub>3</sub> | - 8,0P                | - 6,0W<br>- 3,8W | - 0,2W<br>- 2,4W | U <sub>3</sub> | + 4,1P                | + 4,4W<br>+ 1,4W | - 1,5W<br>+ 1,6W |
| O <sub>4</sub> | - 7,3P                | - 6,0W<br>- 3,8W | - 0,1W<br>- 2,4W | U <sub>4</sub> | + 5,2P                | + 5,1W<br>+ 1,4W | - 1,1W<br>+ 3,1W |
| V <sub>1</sub> | - 0,7P                | - 1,0W           | 0                | U <sub>5</sub> | + 3,0P                | + 2,1W           | - 2,1W           |
| V <sub>2</sub> | - 1,4P                | - 2,0W           | 0                | D <sub>1</sub> | + 1,1P                | + 1,5W           | 0                |
| V <sub>3</sub> | - 0,7P                | - 1,0W           | 0                | D <sub>2</sub> | + 1,1P                | + 1,5W           | 0                |

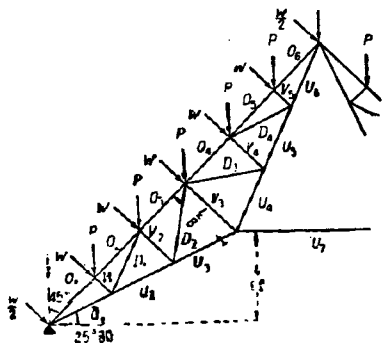
Примечание. Цифры в знаменателе относятся к правой половине фермы, имеющей подвижную опору.

<sup>1</sup> По материалам ЦНИПС.

## БАЛОЧНЫЕ ФЕРМЫ

Таб.

Усилия в стержнях ферм Колонсо от вертикальной нагрузки во всех узлах ферм и от ветра <sup>1</sup>



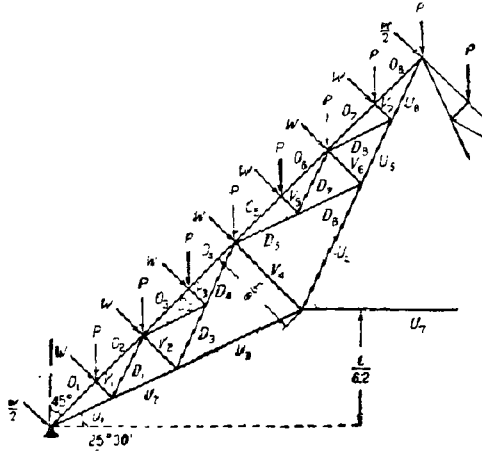
Фиг. 134. Схема фермы

| Элементы | Вертикальная нагрузка | Ветер слева           | Ветер справа          | Элементы | Вертикальная нагрузка | Ветер слева            | Ветер справа          |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| $O_1$    | $-14,9P$              | $\frac{-9,8W}{-5,7W}$ | $\frac{-0,3W}{-4,3W}$ | $U_1$    | $+11,7P$              | $\frac{+12,0W}{+4,5W}$ | $\frac{-4,5W}{+3,0W}$ |
| $O_2$    | $-14,2P$              | $\frac{-9,8W}{-5,7W}$ | $\frac{-0,3W}{-4,3W}$ | $U_2$    | $+10,6P$              | $\frac{+10,5W}{+4,5W}$ | $\frac{-4,5W}{+1,5W}$ |
| $O_3$    | $-12,5P$              | $\frac{-9,4W}{-5,7W}$ | $\frac{-0,3W}{-2,9W}$ | $U_3$    | $+9,6P$               | $\frac{+9,0W}{+4,5W}$  | $\frac{-4,5W}{0}$     |
| $O_4$    | $-11,8P$              | $\frac{-9,4W}{-5,7W}$ | $\frac{-0,3W}{-2,9W}$ | $U_4$    | $+6,2P$               | $\frac{+6,2W}{+2,1W}$  | $\frac{-2,2W}{+2,4W}$ |
| $O_5$    | $-12,1P$              | $\frac{-9,8W}{-5,7W}$ | $\frac{-0,3W}{-4,3W}$ | $U_5$    | $+7,3P$               | $\frac{+8,2W}{+2,1W}$  | $\frac{-2,2W}{+3,5W}$ |
| $O_6$    | $-11,4P$              | $\frac{-9,8W}{-5,7W}$ | $\frac{-0,3W}{-4,3W}$ | $U_6$    | $+8,3P$               | $\frac{+9,7W}{+2,1W}$  | $\frac{-2,2W}{+5,3W}$ |
| $V_1$    | $-0,7P$               | $-1,0W$               | $0$                   | $U_7$    | $+4,4P$               | $+3,1W$                | $-3,1W$               |
| $V_2$    | $-1,1P$               | $-1,5W$               | $0$                   | $D_1$    | $+1,1P$               | $+1,5W$                | $0$                   |
| $V_3$    | $-2,1P$               | $-3,1W$               | $0$                   | $D_2$    | $+1,2P$               | $+1,7W$                | $0$                   |
| $V_4$    | $-1,1P$               | $-1,5W$               | $0$                   | $D_3$    | $+1,2P$               | $+1,7W$                | $0$                   |
| $V_5$    | $-0,7P$               | $-1,0W$               | $0$                   | $D_4$    | $+1,1P$               | $+1,5W$                | $0$                   |

Примечание. Цифры в знаменателе относятся к элементам правой половины фермы, имеющей подвижную опору.

<sup>1</sup> По материалам ЦНИПС.

Условия в стержнях фермы Полонсо от вертикальной нагрузки во всех узлах фермы и от ветра <sup>1</sup>



Фиг. 135. Схема фермы

| Элементы       | Вертикальная нагрузка | Ветер слева              | Ветер справа            | Элементы       | Вертикальная нагрузка | Ветер слева              | Ветер справа            |
|----------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| O <sub>1</sub> | - 20,3P               | $\frac{- 13,6W}{- 7,7W}$ | $\frac{- 0,3W}{- 6,3W}$ | U <sub>1</sub> | + 15,9P               | $\frac{+ 16,5W}{+ 6,0W}$ | $\frac{- 6,0W}{+ 4,6W}$ |
| O <sub>2</sub> | - 19,6P               | $\frac{- 13,6W}{- 7,7W}$ | $\frac{- 0,3W}{- 6,3W}$ | U <sub>2</sub> | + 14,8P               | $\frac{+ 15,0W}{+ 6,0W}$ | $\frac{- 6,0W}{+ 3,1W}$ |
| O <sub>3</sub> | - 18,9P               | $\frac{- 13,6W}{- 7,7W}$ | $\frac{- 0,3W}{- 6,3W}$ | U <sub>3</sub> | + 12,7P               | $\frac{+ 12,0W}{+ 6,0W}$ | $\frac{- 6,0W}{0}$      |
| O <sub>4</sub> | - 18,2P               | $\frac{- 13,6W}{- 7,7W}$ | $\frac{- 0,3W}{- 6,3W}$ | U <sub>4</sub> | + 8,3P                | $\frac{+ 9,6W}{+ 2,9W}$  | $\frac{- 2,9W}{+ 3,1W}$ |
| O <sub>5</sub> | - 17,5P               | $\frac{- 13,6W}{- 7,7W}$ | $\frac{- 0,3W}{- 6,3W}$ | U <sub>5</sub> | + 10,4P               | $\frac{+ 12,0W}{+ 2,9W}$ | $\frac{- 2,9W}{+ 6,2W}$ |
| O <sub>6</sub> | - 16,9P               | $\frac{- 13,6W}{- 7,7W}$ | $\frac{- 0,3W}{- 6,3W}$ | U <sub>6</sub> | + 11,5P               | $\frac{+ 13,5W}{+ 2,9W}$ | $\frac{- 2,9W}{+ 7,7W}$ |
| O <sub>7</sub> | - 16,0P               | $\frac{- 13,6W}{- 7,7W}$ | $\frac{- 0,3W}{- 6,3W}$ | U <sub>7</sub> | + 6,0P                | + 4,2W                   | - 4,2W                  |
| O <sub>8</sub> | - 15,3P               | $\frac{- 13,6W}{- 7,7W}$ | $\frac{- 0,3W}{- 6,3W}$ | D <sub>1</sub> | + 1,1P                | + 1,5W                   | 0                       |
| V <sub>1</sub> | - 0,7P                | - 1,0W                   | 0                       | D <sub>2</sub> | - 1,1P                | + 1,5W                   | 0                       |
| V <sub>2</sub> | - 1,4P                | - 2,0W                   | 0                       | D <sub>3</sub> | + 2,1P                | + 3,0W                   | 0                       |
| V <sub>3</sub> | - 0,7P                | - 1,0W                   | 0                       | D <sub>4</sub> | - 3,2P                | + 4,5W                   | 0                       |
| V <sub>4</sub> | - 2,8P                | - 4,0W                   | 0                       | D <sub>5</sub> | + 3,2P                | + 4,5W                   | 0                       |
| V <sub>5</sub> | - 0,7P                | - 1,0W                   | 0                       | D <sub>6</sub> | - 2,1P                | + 3,0W                   | 0                       |
| V <sub>6</sub> | - 1,4P                | - 2,0W                   | 0                       | D <sub>7</sub> | + 1,1P                | + 1,5W                   | 0                       |
| V <sub>7</sub> | - 0,7P                | - 1,0W                   | 0                       | D <sub>8</sub> | + 1,1P                | + 1,5W                   | 0                       |

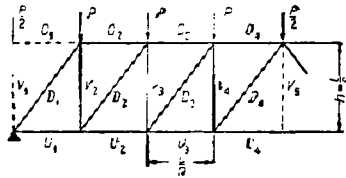
Примечание. Цифры в знаменателе относятся к элементам правой половины фермы, имеющей подвижную опору.

<sup>1</sup> По материалам ЦНИПС.

БАЛОЧНЫЕ ФЕРМЫ

Таблица

Усилия в стержнях ферм с параллельными поясами и восходящими раскосами от единичной нагрузки



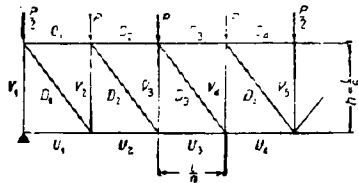
Фиг. 136. Схема фермы

| Число панелей в ферме | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        |
|-----------------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|--------------------|--------|--------|----------------|--------------------|--------|--------|
|                       |                |                           |                |                           |                | слева              | справа | полной |                | слева              | справа | полной |
| n = 4                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 2,25                    | V <sub>1</sub> | - 0,50             | 0      | - 0,50 | D <sub>1</sub> | - 1,80             | - 0,90 | - 2,70 |
|                       | O <sub>2</sub> | - 2,25                    | U <sub>2</sub> | + 3,00                    | V <sub>2</sub> | + 0,90             | + 0,50 | 0      | D <sub>2</sub> | 0                  | - 0,90 | - 0,90 |
|                       |                |                           |                |                           | V <sub>3</sub> | 0                  | 0      | 0      |                |                    |        |        |
| n = 6                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 2,50                    | V <sub>1</sub> | - 2,50             | 0      | - 0,50 | D <sub>1</sub> | - 2,48             | - 1,06 | - 3,54 |
|                       | O <sub>2</sub> | - 2,50                    | U <sub>2</sub> | + 4,00                    | V <sub>2</sub> | + 0,75             | + 0,75 | + 1,50 | D <sub>2</sub> | - 1,06             | - 1,06 | - 2,12 |
|                       | O <sub>3</sub> | - 4,00                    | U <sub>3</sub> | + 4,50                    | V <sub>3</sub> | - 0,25             | + 0,75 | + 0,50 | L <sub>3</sub> | + 0,35             | - 1,06 | - 0,71 |
|                       |                |                           |                | V <sub>4</sub>            | 0              | 0                  | 0      |        |                |                    |        |        |
| n = 8                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 2,62                    | V <sub>1</sub> | - 2,50             | 0      | - 0,50 | D <sub>1</sub> | - 3,13             | - 1,25 | - 4,38 |
|                       | O <sub>2</sub> | - 2,62                    | U <sub>2</sub> | + 4,50                    | V <sub>2</sub> | + 1,00             | + 1,00 | + 2,50 | D <sub>2</sub> | - 1,88             | - 1,25 | - 3,13 |
|                       | O <sub>3</sub> | - 4,50                    | U <sub>3</sub> | + 5,63                    | V <sub>3</sub> | - 0,50             | + 1,00 | + 1,00 | D <sub>3</sub> | - 0,63             | - 1,25 | - 1,88 |
|                       | O <sub>4</sub> | - 5,63                    | U <sub>4</sub> | + 6,00                    | V <sub>4</sub> | - 0,50             | + 1,00 | + 0,50 | D <sub>4</sub> | + 0,63             | - 1,25 | - 0,62 |
|                       |                |                           |                | V <sub>5</sub>            | 0              | 0                  | 0      |        |                |                    |        |        |

Примечание. При нагрузке снизу к усилиям во всех стойках (если стойки имеются во всех узлах) прибавляется + P<sub>н</sub>, где P<sub>н</sub> — местная нагрузка нижнего узла у стойки.

Таблица 15

Усилия в стержнях ферм с параллельными поясами и нисходящими раскосами от единичной нагрузки



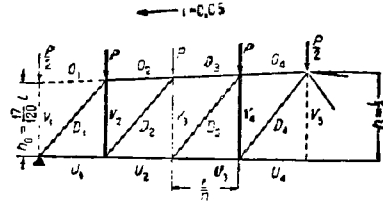
Фиг. 137. Схема фермы

| Число панелей в ферме | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        |
|-----------------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|--------------------|--------|--------|----------------|--------------------|--------|--------|
|                       |                |                           |                |                           |                | слева              | справа | полной |                | слева              | справа | полной |
| n = 4                 | O <sub>1</sub> | - 2,25                    | U <sub>1</sub> | 0                         | V <sub>1</sub> | - 0,50             | - 0,50 | - 2,00 | D <sub>1</sub> | + 1,80             | + 0,90 | + 2,70 |
|                       | O <sub>2</sub> | - 3,00                    | U <sub>2</sub> | + 2,25                    | V <sub>2</sub> | - 1,00             | - 0,50 | - 1,50 | D <sub>2</sub> | 0                  | + 0,90 | + 0,90 |
|                       |                |                           |                |                           | V <sub>3</sub> | - 0,50             | - 0,50 | - 1,00 |                |                    |        |        |
| n = 6                 | O <sub>1</sub> | - 2,50                    | U <sub>1</sub> | 0                         | V <sub>1</sub> | - 2,25             | - 0,75 | - 3,00 | D <sub>1</sub> | + 2,48             | + 1,06 | + 3,54 |
|                       | O <sub>2</sub> | - 4,00                    | U <sub>2</sub> | + 2,50                    | V <sub>2</sub> | - 1,75             | - 0,75 | - 2,50 | D <sub>2</sub> | + 1,06             | + 1,06 | + 2,12 |
|                       | O <sub>3</sub> | - 4,50                    | U <sub>3</sub> | + 4,00                    | V <sub>3</sub> | - 0,75             | - 0,75 | - 1,50 | L <sub>3</sub> | - 0,35             | + 1,06 | + 0,71 |
|                       |                |                           |                | V <sub>4</sub>            | - 0,50         | - 0,50             | - 1,00 |        |                |                    |        |        |
| n = 8                 | O <sub>1</sub> | - 2,62                    | U <sub>1</sub> | 0                         | V <sub>1</sub> | - 3,00             | - 1,00 | - 4,00 | D <sub>1</sub> | + 3,13             | + 1,25 | + 4,38 |
|                       | O <sub>2</sub> | - 4,50                    | U <sub>2</sub> | - 2,62                    | V <sub>2</sub> | - 2,50             | - 1,00 | - 3,50 | D <sub>2</sub> | + 1,88             | + 1,25 | + 3,13 |
|                       | O <sub>3</sub> | - 5,63                    | U <sub>3</sub> | - 4,50                    | V <sub>3</sub> | - 1,50             | - 1,00 | - 2,50 | D <sub>3</sub> | + 0,63             | + 1,25 | + 1,88 |
|                       | O <sub>4</sub> | - 6,00                    | U <sub>4</sub> | - 5,63                    | V <sub>4</sub> | - 0,50             | - 1,00 | - 1,50 | D <sub>4</sub> | - 0,63             | + 1,25 | - 0,62 |
|                       |                |                           |                | V <sub>5</sub>            | - 0,50         | - 0,50             | - 1,00 |        |                |                    |        |        |

Примечание. При нагрузке снизу к усилиям во всех стойках (если стойки имеются во всех узлах) прибавляется + P<sub>н</sub>, где P<sub>н</sub> — местная нагрузка нижнего узла у стойки.

Таблица 16

Усилия от единичной нагрузки в стержнях двускатных ферм с восходящими раскосами при угле скатов в 5%<sup>1</sup>



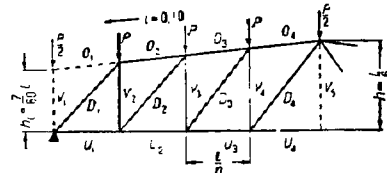
Фиг. 138. Схема фермы

| Число панелей в ферме | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        |
|-----------------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|--------------------|--------|--------|----------------|--------------------|--------|--------|
|                       |                |                           |                |                           |                | слева              | справа | полной |                | слева              | справа | полной |
| n = 4                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 2,44                    | V <sub>1</sub> | - 0,50             | 0      | - 0,50 | D <sub>1</sub> | - 1,31             | - 0,96 | - 2,27 |
|                       | O <sub>2</sub> | - 2,43                    | U <sub>2</sub> | + 3,00                    | V <sub>2</sub> | - 0,06             | + 0,47 | + 0,41 | D <sub>2</sub> | + 0,15             | - 0,83 | - 0,68 |
| n = 6                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 2,74                    | V <sub>1</sub> | - 0,50             | 0      | - 0,50 | D <sub>1</sub> | - 2,61             | - 1,12 | - 3,73 |
|                       | O <sub>2</sub> | - 2,76                    | U <sub>2</sub> | + 4,21                    | V <sub>2</sub> | + 0,67             | + 0,72 | + 1,39 | D <sub>2</sub> | - 0,98             | - 1,05 | - 2,03 |
|                       | O <sub>3</sub> | - 4,41                    | U <sub>3</sub> | + 4,50                    | V <sub>3</sub> | - 0,37             | + 0,69 | + 0,33 | D <sub>3</sub> | + 0,54             | - 0,95 | - 0,41 |
|                       |                |                           |                |                           | V <sub>4</sub> | 0                  | 0      | 0      |                |                    |        |        |
| n = 8                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 2,91                    | V <sub>1</sub> | - 0,50             | 0      | - 0,50 | D <sub>1</sub> | - 3,26             | - 1,31 | - 4,57 |
|                       | O <sub>2</sub> | - 2,91                    | U <sub>2</sub> | + 4,33                    | V <sub>2</sub> | - 1,42             | + 0,97 | + 2,39 | D <sub>2</sub> | - 1,83             | - 1,25 | - 3,08 |
|                       | O <sub>3</sub> | - 4,83                    | U <sub>3</sub> | + 5,84                    | V <sub>3</sub> | + 0,37             | + 0,93 | + 1,30 | D <sub>3</sub> | - 0,47             | - 1,19 | - 1,66 |
|                       | O <sub>4</sub> | - 5,85                    | U <sub>4</sub> | + 6,00                    | V <sub>4</sub> | - 0,64             | + 0,91 | + 0,27 | D <sub>4</sub> | + 0,84             | - 1,10 | - 0,26 |

Примечание. При нагрузке понизу к усилиям во всех стойках (если стойки имеются во всех узлах) прибавляется + P<sub>n</sub>, где P<sub>n</sub> — местная нагрузка нижнего узла у стойки.

Таблица 17

Усилия от единичной нагрузки в стержнях двускатных ферм с восходящими раскосами при угле скатов в 10%<sup>1</sup>



Фиг. 139. Схема фермы

| Число панелей в ферме | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        |
|-----------------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|--------------------|--------|--------|----------------|--------------------|--------|--------|
|                       |                |                           |                |                           |                | слева              | справа | полной |                | слева              | справа | полной |
| n = 4                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 2,7                     | V <sub>1</sub> | - 0,5              | 0      | - 0,5  | D <sub>1</sub> | - 2,0              | - 1,0  | - 3,0  |
|                       | O <sub>2</sub> | - 2,7                     | U <sub>2</sub> | + 3,0                     | V <sub>2</sub> | - 0,1              | + 0,4  | + 0,3  | D <sub>2</sub> | + 0,3              | - 0,7  | - 0,4  |
| n = 6                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 3,1                     | V <sub>1</sub> | - 0,5              | 0      | - 0,5  | D <sub>1</sub> | - 2,8              | - 1,2  | - 4,0  |
|                       | O <sub>2</sub> | - 3,0                     | U <sub>2</sub> | + 4,5                     | V <sub>2</sub> | + 0,6              | + 0,7  | + 1,3  | D <sub>2</sub> | - 0,8              | - 1,0  | - 1,8  |
|                       | O <sub>3</sub> | - 4,5                     | U <sub>3</sub> | + 4,6                     | V <sub>3</sub> | - 0,5              | + 0,6  | + 0,1  | D <sub>3</sub> | + 0,7              | - 0,8  | - 0,1  |
|                       |                |                           |                |                           | V <sub>4</sub> | 0                  | 0      | 0      |                |                    |        |        |
| n = 8                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 3,3                     | V <sub>1</sub> | - 0,5              | 0      | - 0,5  | D <sub>1</sub> | - 3,5              | - 1,4  | - 4,9  |
|                       | O <sub>2</sub> | - 3,4                     | U <sub>2</sub> | + 5,2                     | V <sub>2</sub> | + 1,3              | + 0,9  | + 2,2  | D <sub>2</sub> | - 1,7              | - 1,2  | - 2,9  |
|                       | O <sub>3</sub> | - 5,3                     | U <sub>3</sub> | + 6,0                     | V <sub>3</sub> | + 0,7              | + 0,8  | + 1,0  | D <sub>3</sub> | - 0,3              | - 1,1  | - 1,4  |
|                       | O <sub>4</sub> | - 6,1                     | U <sub>4</sub> | + 6,0                     | V <sub>4</sub> | - 0,8              | + 0,8  | 0      | D <sub>4</sub> | + 1,1              | - 0,9  | + 0,2  |

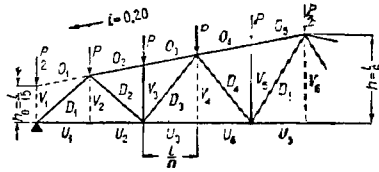
Примечание. При нагрузке понизу к усилиям во всех стойках (если стойки имеются во всех узлах) прибавляется + P<sub>n</sub>, где P<sub>n</sub> — местная нагрузка нижнего узла у стойки.

<sup>1</sup> По материалам ЦНИИП.



Таблица 18

Усилия от единичной нагрузки в стержнях двускатных ферм с переменным направлением раскосов при уклоне скатов в 20%<sup>1</sup>

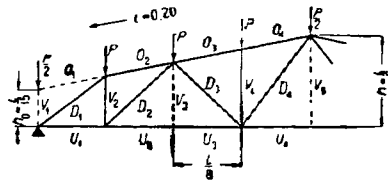


Фиг. 140. Схема фермы

| Число панелей в ферме | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        |
|-----------------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|--------------------|--------|--------|----------------|--------------------|--------|--------|
|                       |                |                           |                |                           |                | слева              | справа | полной |                | слева              | справа | полной |
| n = 6                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 4,1                     | V <sub>1</sub> | - 0,5              | 0      | - 0,5  | D <sub>1</sub> | - 3,4              | - 1,5  | - 4,9  |
|                       | O <sub>2</sub> | - 5,2                     | U <sub>2</sub> | + 4,1                     | V <sub>2</sub> | 0                  | 0      | 0      | D <sub>2</sub> | - 0,3              | + 0,8  | + 1,1  |
|                       | O <sub>3</sub> | - 5,2                     | U <sub>3</sub> | + 4,6                     | V <sub>3</sub> | - 1,0              | 0      | - 1,0  | D <sub>3</sub> | - 1,3              | - 0,5  | + 0,8  |
| n = 8                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 4,7                     | V <sub>1</sub> | - 0,5              | 0      | - 0,5  | D <sub>1</sub> | - 4,3              | - 1,7  | - 6,0  |
|                       | O <sub>2</sub> | - 6,6                     | U <sub>2</sub> | + 4,7                     | V <sub>2</sub> | 0                  | 0      | 0      | D <sub>2</sub> | + 1,1              | + 0,9  | + 2,0  |
|                       | O <sub>3</sub> | - 6,6                     | U <sub>3</sub> | + 6,8                     | V <sub>3</sub> | - 1,0              | 0      | - 1,0  | D <sub>3</sub> | + 0,5              | - 0,8  | - 0,3  |
|                       | O <sub>4</sub> | - 6,2                     | U <sub>4</sub> | + 6,8                     | V <sub>4</sub> | 0                  | 0      | 0      | D <sub>4</sub> | - 1,5              | + 0,5  | - 1,0  |
| n = 10                | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 5,0                     | V <sub>1</sub> | - 0,5              | 0      | - 0,5  | D <sub>1</sub> | - 4,9              | - 1,9  | - 6,8  |
|                       | O <sub>2</sub> | - 7,5                     | U <sub>2</sub> | + 5,0                     | V <sub>2</sub> | 0                  | 0      | 0      | D <sub>2</sub> | + 1,9              | + 1,0  | + 2,9  |
|                       | O <sub>3</sub> | - 7,5                     | U <sub>3</sub> | + 8,2                     | V <sub>3</sub> | - 1,0              | 0      | - 1,0  | D <sub>3</sub> | - 0,4              | - 1,0  | - 1,4  |
|                       | O <sub>4</sub> | - 8,4                     | U <sub>4</sub> | + 8,2                     | V <sub>4</sub> | 0                  | 0      | 0      | D <sub>4</sub> | - 0,8              | + 0,8  | 0      |
|                       | O <sub>5</sub> | - 8,4                     | U <sub>5</sub> | + 7,6                     | V <sub>5</sub> | - 1,0              | 0      | - 1,0  | D <sub>5</sub> | + 2,0              | - 0,7  | + 1,3  |

Примечания: 1. При нагрузке понизу к усилиям во всех стойках (если стойки имеются во всех узлах) прибавляется + P<sub>н</sub>, где P<sub>н</sub> — местная нагрузка нижнего узла у стойки.  
2. Схемы ферм с меньшим числом панелей, чем указано на фиг. 140, образуются путем выбрасывания панелей из середины пролета фермы.

Таблица 19



Фиг. 141. Схема фермы

| Число панелей в ферме | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от полной нагрузки | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        | Элементы       | Усилия от нагрузки |        |        |
|-----------------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|--------------------|--------|--------|----------------|--------------------|--------|--------|
|                       |                |                           |                |                           |                | слева              | справа | полной |                | слева              | справа | полной |
| n = 8                 | O <sub>1</sub> | 0                         | U <sub>1</sub> | + 4,7                     | V <sub>1</sub> | - 0,5              | 0      | - 0,5  | D <sub>1</sub> | - 4,2              | - 1,7  | - 5,9  |
|                       | O <sub>2</sub> | - 4,8                     | U <sub>2</sub> | + 6,3                     | V <sub>2</sub> | + 0,9              | + 0,7  | + 1,6  | D <sub>2</sub> | - 1,3              | - 1    | - 2,4  |
|                       | O <sub>3</sub> | - 6,7                     | U <sub>3</sub> | + 6,3                     | V <sub>3</sub> | 0                  | 0      | 0      | D <sub>3</sub> | - 0,4              | + 0,7  | + 0,3  |
|                       | O <sub>4</sub> | - 6,7                     | U <sub>4</sub> | + 6,0                     | V <sub>4</sub> | - 1,0              | 0      | - 1,0  | D <sub>4</sub> | + 1,6              | - 0,8  | + 1,0  |

Примечание. При нагрузке понизу к усилиям во всех стойках (если стойки имеются во всех узлах) прибавляется + P<sub>н</sub>, где P<sub>н</sub> — местная нагрузка нижнего узла у стойки.

<sup>1</sup> По материалам ЦНИПС.

## ХИ. СЕГМЕНТНЫЕ ФЕРМЫ

### 1. Общие сведения

#### 1) Характеристика и область применения

Сегментные фермы относятся к числу основных несущих конструкций в покрытиях промышленных зданий.

Широкое распространение сегментных ферм в практике современного строительства обусловлено целым рядом преимуществ этой системы ферм. Важнейшими из них являются:

1. Надежность конструкции, проверенная многолетним опытом в самых разнообразных (в том числе и неблагоприятных) условиях строительства и эксплуатации (двойной запас прочности по отношению к полной расчетной нагрузке и тройной — по отношению к снеговой).

2. Сравнительная простота производства работ по изготовлению ферм.

3. Возможность применения для ферм наиболее употребительных размеров пиломатериалов среднего качества.

4. Полное использование древесины в поясах ферм.

5. Малая напряженность решетки, допускающая эксцентричное крепление ее к поясам на гвоздях.

6. Высокая экономическая эффективность конструкции.

К числу недостатков сегментных ферм, ограничивающих область их применения, относятся:

1. Большой расход гвоздей на верхний криволинейный пояс фермы, имеющий составное сечение из брусков малых размеров.

2. Наличие местных изгибающих моментов и сдвигающих сил от кривизны верхнего пояса в пределах панели, особенно существенных в фермах, не имеющих непосредственной нагрузки между узлами верхнего пояса.

3. Трудоемкость забивки мощных и длинных гвоздей в бруски верхнего пояса.

4. Плохая транспортабельность ферм вследствие их неразборности, ограничивающая централизованное их изготовление.

Наиболее часто встречающиеся в практике случаи применения ферм приведены на фиг. 1. Сегментные фермы нормальной современной конструкции применяются для перекрытия пролетов от 10 до 40 м при нагрузке до 2 т на 1 пог. м.

Нижний предел обусловлен экономической целесообразностью применения ферм, а верхний — несущей способностью конструкции при наибольшей нагрузке. Те же пределы применения справедливы и при наличии подвесного потолка по нижнему поясу ферм.

В покрытиях больших пролетов, превышающих указанные пределы, сегментные фермы находят применение в виде звеньев трехшарнирных арок с криволинейным верхним поясом (фиг. 2).

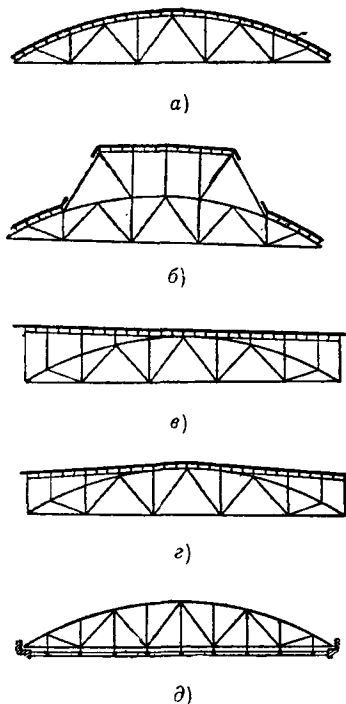
Арки проектируются из двух сегментных ферм и могут быть симметричными или несимметричными, с затяжкой или без нее.

Пролеты таких арок достигают 75 м.

До установки в покрытие те же сегментные фермы могут быть успешно использованы для поддержания опалубки монолитных железобетонных

топных противопожарных зон вместо дорого стоящих и загромождающих пространство подмостей.

Сегментная ферма как конструктивная форма заимствована из практики строительства США,



Фиг. 1. Различные случаи применения ферм

где она имеет применение и в настоящее время<sup>1</sup>.



Фиг. 2. Трехшарнирная арка из сегментных ферм

#### 2) Материал

Специальных требований к материалам сегментных ферм не предъявляется, поэтому при проектировании их необходимо руководствоваться общими положениями технических условий на деревянные конструкции.

Обычно фермы изготавливаются из полусухой сосны марки 1 (ОСТ ВКС 7099) с влажностью от 18 до 23%.

<sup>1</sup> В практику нашего строительства сегментные фермы внедрены Промстройпроектком. Следует отметить роль инж. А. Я. Гарташова в первоначальной разработке конструкции ферм и их внедрении в практику.

На нижний растянутый пояс сегментных ферм, как и во всякой другой деревянной конструкции, рекомендуется применять отборный лес, не допуская сучковатых и косослойных досок, так как местные пороки древесины в растянутых элементах наиболее опасны.

## 2. Схемы ферм

Основными характеристиками схемы сегментной фермы являются:

- 1) очертание верхнего пояса;
- 2) высота фермы;
- 3) схема решетки;
- 4) число панелей верхнего или нижнего пояса.

Выбор схемы определяется следующими основными условиями:

- 1) профилем кровельного покрытия по фермам и характером действующих нагрузок;
- 2) величиной перекрываемого пролета;
- 3) размерами имеющихся пиломатериалов;
- 4) экономическими и архитектурно-эстетическими соображениями.

### 1) Очертание верхнего пояса

Верхний пояс, вообще говоря, может иметь очертание по дуге окружности, параболы, эллипса и других кривых, симметричных относительно какой-либо оси (например коробовых кривых). Однако каждая из названных кривых за исключением окружности может оказаться рациональной только при некоторых пролетах и при определенном характере распределения нагрузок по длине пролета фермы. Так например, при малых пролетах ферм и при гнутом верхнем поясе параболическое очертание вызовет большие затруднения с гнутьем досок, так как при одинаковой высоте параболического и кругового сегментов радиус кривизны в вершине параболы значительно меньше радиуса окружности; следовательно параболическое очертание (так же как и очертание по другим кривым) приемлемо только при больших пролетах.

В некоторых схемах сегментных ферм с фонарем при очертании верхнего пояса по дуге эллипса или по коробовой кривой уменьшаются усилия в решетке; но и в этом случае экономия в материале по сравнению с фермой круглого очертания ничтожна, условия же работы крайних панелей верхнего пояса вследствие большой их кривизны заметно ухудшаются.

Наиболее рациональным и общепринятым очертанием верхнего пояса является поэтому дуга круга, имеющая постоянную кривизну и одинаково полно удовлетворяющая конструктивным и производственным требованиям при любой величине пролета и при всех встречающихся в практике схемах распределения нагрузки по длине фермы.

### 2) Высота ферм

Высота ферм относится к числу факторов, существенно влияющих на стоимость всего покрытия в целом. Поэтому при назначении высоты ферм необходимо учитывать:

- 1) стоимость самих ферм;
- 2) стоимость кровли;
- 3) стоимость огнестойких железобетонных зон;
- 4) площадь кровельного покрытия как охлаждающей поверхности, влияющей на расходы по отоплению здания.

Технико-экономические исследования Промстройпроекта, произведенные в 1934 г. для цехов

металлообрабатывающей промышленности, показали, что при пролетах ферм до 20 м оптимальной является высота  $h = \frac{1}{7} l$ , а при пролетах  $l > 20$  м — высота  $h = \frac{1}{6} l$ .

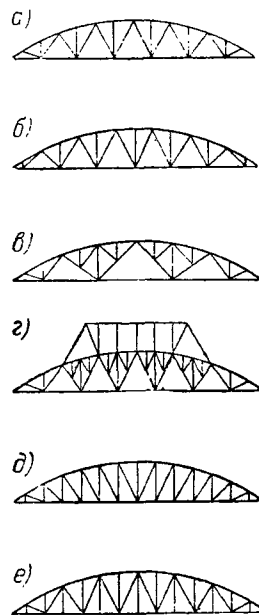
Для этих цехов площадь железобетонных противопожарных зон составляет от 15 до 25% от площади всего цеха, а стоимость этих зон, отнесенная к квадратному метру площади пола, превышает строительную стоимость деревянного покрытия примерно в 7 раз. В связи с этим высота ферм в данном случае подчинена экономической высоте железобетонных арок.

Для цехов малых площадей, где огнестойких зон не имеется, может оказаться целесообразным применение ферм с высотой в  $\frac{1}{8}$  пролета.

### 3) Схемы решетки

Решетка сегментных ферм может быть разбита по одной из схем, приведенных на фиг. 3.

Основной является треугольная схема со стойками и с раскосами переменного направления. Эта схема имеет два варианта. По варианту 1 (фиг. 3, а) средние раскосы пересекаются на оси верхнего пояса, при этом нижний пояс имеет панель, расположенную по середине пролета фермы. По варианту 2 (фиг. 3, б) средние раскосы имеют обратное направление и пересекаются на оси нижнего пояса в месте расположения средней стойки.



Фиг. 3. Схемы решетки

Вариант 1 лучше, так как допускает симметричное расположение стыков нижнего пояса через одну панель при любом пролете фермы, что весьма ценно в конструктивном и в производственном отношениях.

Остальные схемы решетки, приведенные на фиг. 3 (за исключением типа д), являются производными от основной схемы а.

Применение сложной шпренгельной решетки (фиг. 3, в и г) может быть вызвано экономическими или архитектурно-эстетическими соображениями

Введением шпренгельной решетки в фермах, не имеющих непосредственной нагрузки между узлами верхнего пояса, достигается экономия в металле за счет уменьшения расхода гвоздей на верхний пояс в пределах от 8 до 12%.

Однако простое дополнение обычных схем основной решетки шпренгельной в большинстве случаев дает плохое архитектурное оформление конструкции и увеличивает затемнение цеха.

Эти недостатки могут быть частично устранены путем некоторого разрежения основной решетки (фиг. 3, а) в пределах, допускающих размещение стыков нижнего пояса через одну панель, что достижимо при пролетах до 20 м. Кроме того необходимо отметить трудность получения архитектурно-приемлемого решения пересечений шпренгелей с основными раскосами фермы.

В связи с этим шпренгельную решетку рекомендуется применять лишь в индивидуальных проектах при условии надлежащего архитектурного оформления как самих сегментных ферм, так и всего сооружения в целом.

Примером применения ферм такой конструкции может служить перекрытие Арбатского рынка в Москве<sup>1</sup>.

Для ферм, имеющих нагрузку на нижний пояс от потолка или подвесного монорельса, применяются схемы решетки, приведенные на фиг. 3, б и в.

Первая из этих схем (с нисходящими раскосами) менее рациональна, так как при пролетах ферм более 13 м обычно требует устройства лишних стыков нижнего пояса вследствие невозможности раздвижки их (см. ниже) из-за малой длины панели.

Вторая схема (фиг. 3, в) получена из основной схемы (фиг. 3, а) путем добавления подвесок, передающих нагрузку от потолка на верхний пояс фермы. Наличие этих подвесок не является препятствием к устройству раздвижных стыков нижнего пояса.

#### 4) Число панелей

Число панелей верхнего или нижнего пояса сегментных ферм назначается в зависимости от длины панелей, ограниченной главным образом конструктивными требованиями и размерами пиломатериалов.

Величина одной (двойной) панели нижнего пояса, стыкуемого через панель, зависит от длины досок и должна быть меньше длины доски примерно на 2 м (см. ниже). Таким образом наибольшая длина панелей нижнего пояса при длине досок 7 м получается равной 5 м.

Длина панели верхнего пояса при очертании его по дуге круга существенно влияет на экономичность всей конструкции, так как величина местных изгибающих моментов и сдвигающих сил, возникающих от кривизны пояса в пределах панели, зависит от величины стрелки кривой по середине панели, изменяющейся пропорционально квадрату длины хорды панели.

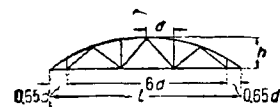
Анализ большого числа осуществленных проектов и теоретические исследования Промстройпроекта свидетельствуют о том, что отношение стрелки кривой по середине панели к длине самой панели более  $\frac{1}{50}$  является нерациональным.

В соответствии с этим наибольшая рациональная длина панели верхнего пояса получается при  $h = \frac{7}{1}l$  равной 0,151l и при  $h = \frac{9}{1}l$  — равной 0,133l (l — пролет фермы, h — ее высота).

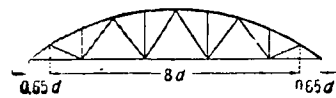
При назначении числа панелей в верхнем поясе ферм с фонарем следует также учитывать расположение фонаря, определяемое условиями освещенности или аэрации цеха.

Характер разбивки панелей верхнего пояса, определяющий собой полноту использования материала верхнего пояса по длине пролета и простоту самой схемы, имеет существенное значение при выборе схемы фермы:

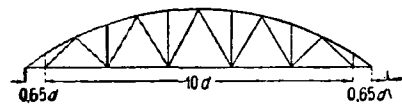
$$l = 10 - 19 \text{ м}; \quad \frac{h}{l} = \frac{1}{7}$$



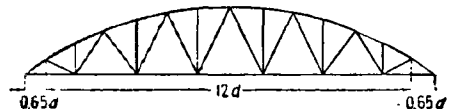
$$l = 20 - 24 \text{ м}; \quad \frac{h}{l} = \frac{1}{6}$$



$$l = 25 - 29 \text{ м}; \quad \frac{h}{l} = \frac{1}{6}$$



$$l = 30 - 35 \text{ м}; \quad \frac{h}{l} = \frac{1}{6}$$



Фиг. 4. Схемы ферм

Точное решение задачи о равнопрочности верхнего пояса по всей длине его возможно лишь на основании расчета сегментных ферм как многократно статически неопределимых систем с учетом их конструктивных особенностей. В настоящее время достаточных научно-экспериментальных данных по этому вопросу не имеется. Практический расчет ферм как шарнирно-стержневых систем с приближенным учетом узловых моментов верхнего пояса показывает, что равнопрочность верхнего пояса по длине пролета может быть достигнута путем последовательного уменьшения длины панелей от середины фермы к опорам.

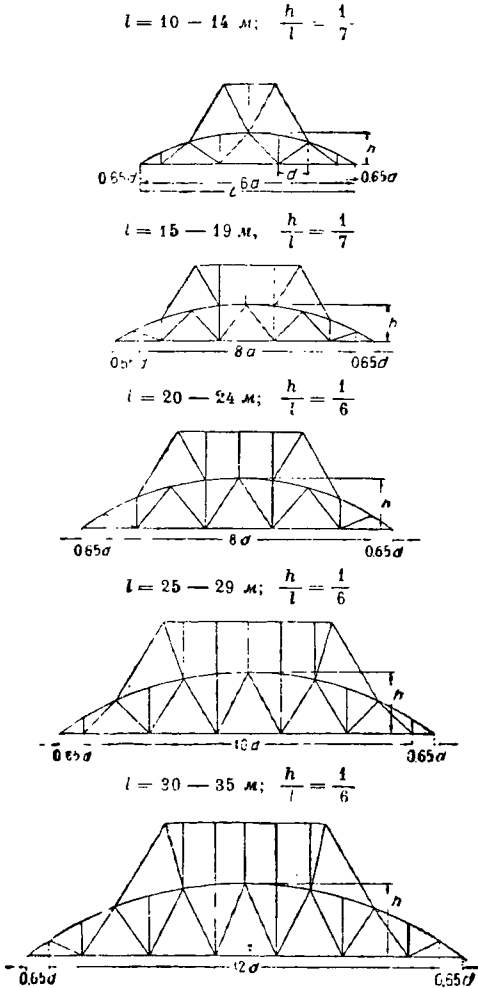
В соответствии с этим крайние панели ферм принимаются укороченными.

Наиболее простое решение схемы получается при равных проекциях средних панелей верх-

<sup>1</sup> Осуществлено по проекту инж. В. С. Дерезина.

него пояса на ось нижнего пояса; крайние панели (первая и последняя) как более короткие имеют меньшие проекции, обычно равные 0,65 от проекций средних панелей.

Такая схема, несмотря на некоторое нарушение принципа равнопрочности верхнего пояса, получила большое распространение и принята Промстройпроектгом.



Фиг. 5. Схемы ферм с фонарями

Примеры применения этой схемы для сегментных ферм различных пролетов приведены на фиг. 4 и 5.

### 3. Конструкция

Основными конструктивными элементами сегментной фермы являются: 1) верхний и 2) нижний пояса, 3) решетка и 4) опорные узлы.

#### 1) Верхний пояс

При составном (дробном) сечении верхнего пояса возможны две конструкции его: 1) из гнутых брусков (фиг. 6) — по типу арки Эми, 2) из выкружаленных досок (фиг. 7) — по типу арки Делорма.

В экономическом отношении оба типа равноценны, а недостатки второго типа более существенны: 1) наличие большого числа стыков, 2) необходимость усиления пояса при работе на продольный изгиб из плоскости фермы, 3) трудоемкость заготовки косяков и их приторцовки при сборке пояса и др.



Фиг. 6



Фиг. 7

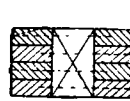
Поэтому гнутый верхний пояс признан более рациональным и получил широкое распространение, тогда как пояс из досок на ребро применен на практике лишь в единичных случаях.

Сечением верхнего пояса определяется конструкция всей фермы. В простейшем случае пояс состоит из двух ветвей, раздвинутых на толщину элементов решетки, с прокладкой между ними доски на ребро (фиг. 6). Совместная работа брусков, а также и ветвей пояса обеспечивается гвоздями и прокладкой.

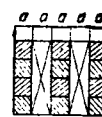
Пределы применения этого сечения ограничены шириной его ветвей и мощностью соответствующего ему нижнего пояса, зависящей от качества древесины и от размеров применяемых досок.

При большой ширине ветвей верхнего пояса (более 7 см) такое сечение не применяется, ибо понижается экономическая эффективность гвоздевых соединений в связи с тем, что значительная часть длины гвоздей совершенно не используется (фиг. 8).

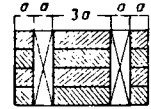
Увеличение мощности верхнего пояса достигается увеличением числа ветвей до трех (фиг. 9) и последующим уширением средней ветви сечения (фиг. 10), не понижающим эффективности использования гвоздей.



Фиг. 8



Фиг. 9

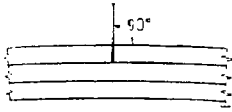


Фиг. 10

Двухветвевое сечение дает наиболее экономичное и простое решение фермы, поэтому применение двух других типов (фиг. 9 и 10) можно рекомендовать лишь при больших пролетах и нагрузках, когда прочности двух ветвей недостаточно, или в тех случаях, когда по конструктивным или архитектурным требованиям необходимо уменьшить ширину элементов (размер по фасаду) решетки, обычно определяемую из условия размещения гвоздей в узлах верхнего пояса.

Высота сечения пояса, имеющая не менее существенное значение, чем ширина его ветвей, зависит от числа и от толщины брусков. Во избежание большого ослабления сечения число брусков по высоте пояса обычно принимается не менее трех, но не более пяти, ибо большое число швов в составном сечении элемента уменьшает его жесткость и ухудшает использование материала.

Стыки брусков гнутого верхнего пояса осуществляются простой приторцовочной их (фиг. 11) и располагаются обычно через панель вразбежку не ближе 0,5 м один от другого, на расстоянии  $\frac{1}{5} - \frac{2}{5}$  длины панели от узла при условии, чтобы поперечное сечение каждой ветви ослаблялось не более, чем одним стыком, и чтобы стыки



Фиг. 11

верхних и нижних брусков всегда располагались в пределах от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{5}$  длины панели от узла.

Толщина брусков зависит от размеров гвоздей и от кривизны пояса (а следовательно и от пролета фермы), так как напряжения, возникающие при гнущем бруске, тем больше, чем меньше отношение  $\frac{R}{h}$ , где  $R$  — радиус кривизны пояса, а  $h$  — толщина бруска.

В практике проектирования Промстройпроекта отношение  $\frac{R}{h}$  принимается не менее 200; при этом начальные напряжения, возникающие при гнущем бруске, на основании приказа НКТП за № 012737 от 15 июля 1932 г. не учитываются, так как опытные данные свидетельствуют о небольшом их влиянии и о затухании со временем.

В преобладающем большинстве случаев применяются бруски толщиной 5—6 см и шириной соответственно 5—7 и 6—7 см. Поперечные сечения, составленные из этих брусков, обеспечивают необходимую мощность пояса и хорошо согласуются с действующим стандартом превосходных гвоздей. В сечениях указанного на фиг. 10 типа средняя ветвь составляется из цельных досок той же толщины и утресенной по сравнению с брусками ширины.

Для малых пролетов ферм (10—13 м) в целях уменьшения начальных напряжений от гнуща следует применять бруски толщиной 4 см и шириной 4—6 см.

Бруски толщиной 7 см применяются в редких случаях и только при больших пролетах ферм.

При проектировании верхнего пояса необходимо учитывать, что сечения, составленные по высоте из трех брусков, часто вызывают чрезмерное увеличение ширины решетки вследствие трудности размещения гвоздей в узлах пояса и кроме того по сравнению с сечениями, составленными из четырех и из пяти брусков, получают соответственно большее ослабление в месте расположения стыков брусков. В связи с этим такие сечения применимы при малонапряженной решетке и при небольших усилиях в поясе, когда сечение из четырех брусков дает большой переход древесины.

Для упрощения конструкции стыков нижнего пояса и опорных узлов фермы (см. ниже) промежуток между ветвями пояса обычно принимается равным ширине отдельной ветви (в типе, указанном на фиг. 10, равной ширине крайней ветви).

Совместная работа ветвей, как указывалось выше, обеспечивается гвоздями и прокладкой

из целой доски на ребро, располагаемой по всей длине панели между узлами пояса.

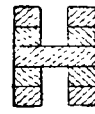
Помимо конструктивного назначения прокладки радирует пояс при его работе в плоскости фермы, уменьшая нарастание стрелки кривой в пределах панели.

Поэтому применение вместо прокладки других конструктивных решений, в частности сечений указанных на фиг. 12, нежелательно, так как при уточненном расчете ни в экономическом, ни в техническом отношении они не имеют преимуществ.

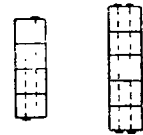
Наиболее рациональные типы поперечных сечений верхнего пояса приведены ниже, в разделе «Расчет сегментных ферм».

Размеры гвоздей верхнего пояса назначаются в соответствии с размерами сплавляемых брусков и ветвей сечения из условия равнопрочности сдвигивания по смятию древесины и по изгибу самого гвоздя.

Гвозди, соединяющие в одно целое бруски отдельной ветви, забиваются по направлению радиуса дуги верхнего пояса. В коньке фермы гвозди эти имеют вертикальное направление и называются «вертикальными» гвоздями.



Фиг. 12



а) б)

Фиг. 13

В зависимости от высоты ветви и от длины гвоздей возможны две основных схемы гвоздевого забоя, приведенные на фиг. 13.

В схеме 1 (фиг. 13, а) с целью достижения равнопрочности крайних швов сечения гвозди забиваются с одной и другой стороны ветви равномерно.

Расстояние между гвоздями принимается: вдоль волокон не менее  $20d$  и поперек волокон не менее  $4d$  при прямой расстановке нормальным рядом и  $6d$  при шахматной расстановке ( $d$  — диаметр гвоздя).

Гвозди, соединяющие через прокладку ветви пояса, занимают в ферме горизонтальное положение и поэтому называются «горизонтальными» гвоздями.

Размещение этих гвоздей по высоте сечения пояса ограничено наличием швов между брусками и высотой прокладки.

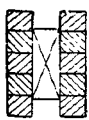
В зависимости от высоты и от кривизны пояса прокладка может перекрывать все или только часть брусков по высоте пояса. Так например, в поясе высотой 25—30 см, составленном из брусков толщиной 5—6 см, прокладка перекрывает только три средних бруска (фиг. 14), через которые осуществляется связь между ветвями пояса.

Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе поперечного сечения пояса. В тех случаях, когда пояс не закреплен по всей его длине и может работать на продольный изгиб из плоскости фермы или когда по конструктивным или экономическим соображениям необходимо заменить часть вертикальных гвоздей горизонтальными, не следует применять сечений из че-

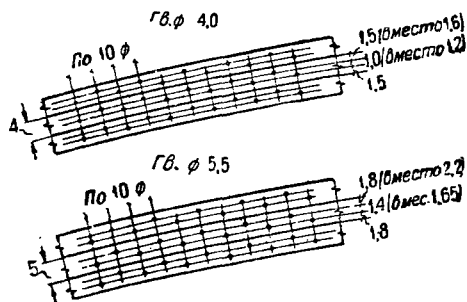
тырех брусков (по высоте сечения), если они полностью не перекрываются прокладкой.

При размещении горизонтальных гвоздей иногда по конструктивным требованиям приходится допускать отступления от норм, определяющих наименьшее расстояние между продольными рядами гвоздей при шахматной их расстановке (см. выше). Примеры таких отступлений, обычно допускаемых на практике, приведены на фиг. 15.

Размеры гвоздей, соответствующие рекомендуемому сечению верхнего пояса, указаны ниже, в разделе «Расчет сегментных ферм».



Фиг. 14



Фиг. 15. Примеры размещения горизонтальных гвоздей

## 2) Нижний пояс

Прямолнейность нижнего растянутого пояса сегментных ферм определяет простоту его конструирования.

Материалом нижнего пояса, так же как и всей фермы, является древесина, механические свойства которой вполне обеспечивают необходимую прочность его при современных пролетах сегментных ферм (стр. 296).

Нижний пояс конструируется из досок, раздвинутых, как и ветви верхнего пояса, на толщину элементов решетки.

Высоту поясных досок не следует допускать менее 12 см при пролетах ферм до 20 м и менее 15 см при пролетах более 20 м. Последнее условие вызвано тем, что ответственность несущей конструкции возрастает с увеличением пролета и кроме того вероятность местных пороков древесины при большой длине пояса также увеличивается.

Число досок и их ширина назначаются в соответствии с типом поперечного сечения верхнего пояса, так как от этого зависит конструкция узловых сопряжений и в частности соединения верхнего пояса с нижним в опорном узле.

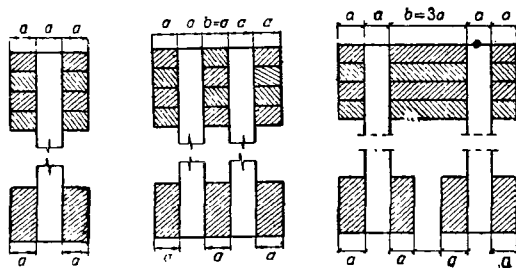
При одинаковой ширине ветвей верхнего пояса число и ширина досок нижнего пояса принимаются соответственно равными числу и ширине ветвей верхнего пояса. Для сечений же верхнего пояса с уширенной средней ветвью применение этого принципа усложняет конструирование опорных узлов и стыков нижнего пояса.

В фермах с таким сечением верхнего пояса рекомендуется конструировать нижний пояс из четырех досок, как это показано на фиг. 16.

Получающиеся при этом несоответствие между сечениями поясов несущественно, так как равномерное распределение усилий между отдельными досками нижнего и верхнего поясов вполне обеспечивается

жесткостью опорных узлов фермы, исключающей возможность различных деформаций растяжения для отдельных досок.

При выборе типа поперечного сечения нижнего пояса большое значение имеет также промежуток



Фиг. 16. Поперечные сечения ферм

между отдельными его досками, определяющий собою конструкцию их стыков, перекрываемых обычно накладками и прокладками из досок.

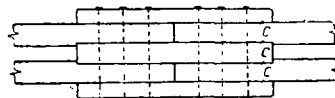
Наиболее простое и экономичное решение стыка получается при одинаковой толщине прокладок и основных досок пояса (фиг. 17).



Фиг. 17. Нормальная конструкция стыка

Ввиду того что такие сечения поясов вызывают некоторый перерасход материалов на прокладки верхнего пояса и частично на решетку фермы, доски нижнего пояса (а следовательно и ветви верхнего пояса) иногда располагают на более близком расстоянии, меньшем, чем толщина поясной доски.

В этих случаях в стыках нижнего пояса прокладки ранее врезались в доски пояса (фиг. 18) для того, чтобы прочность их была равна прочности ослабленных досок пояса.



Фиг. 18. Стык с врезкой прокладки

Такая конструкция стыка отвергнута практикой, так как она усложняет производство работ, увеличивает расход материалов на нижний пояс и одновременно уменьшает надежность работы всей фермы вследствие возможных дефектов врезки.

Указанные недостатки устраняются в конструкции<sup>1</sup>, в которой на каждую накладку стыка передается больше половины усилия, действующего в поясной доске, благодаря чему отпадает необходимость врезки прокладок в доски пояса.

Это достигается путем увеличения числа рабочих срезов нагелей между поясными досками и накладками по сравнению с числом срезов между поясными досками и прокладкой (фиг. 19)

<sup>1</sup> Предложена инж. Плешковым П. Ф.

Наименьший расход гвоздей получается при передаче на вертикальные гвозди половины силы сдвига, действующей в крайнем шве.

В соответствии с этим:

$$m_1 = \frac{T^x + T^y}{2T'_{is}} \cdot 2 = \frac{1}{2c_2} (T^x + T^y). \quad (31)$$

Силы сдвига во втором шве:

$$T'' = 1,5 (T^x + T^y).$$

Вертикальные гвозди воспримут силу сдвига  $T_{1-2}$ , равную:

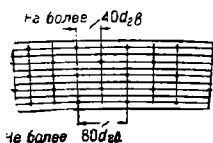
$$T_{1-2} = \frac{m_1}{2} \cdot T''_{is}.$$

Обозначив  $\frac{T''_{is}}{T'_{is}}$  через  $\alpha$  и подставив в выражение  $T_{1-2}$  вместо  $m_1$  его значение из ф-лы (31), получим:

$$T_{1-2} = \frac{\alpha}{2} (T^x + T^y).$$

Разность сил  $T'' - T_{1-2}$  передается на прокладку через горизонтальные гвозди. При равномерном размещении горизонтальных гвоздей во всех брусках они используются не полностью, а на  $\frac{4}{5}$ , так как в среднем бруске их ставят конструктивно, поэтому расчетное число этих гвоздей умножается на  $\frac{5}{4}$ :

$$m_2 = \frac{T'' - T_{1-2}}{2T'_{is}} \cdot 2 \cdot \frac{5}{4} = \frac{1,5 (T^x + T^y) - \frac{\alpha}{2} (T^x + T^y)}{T'_{is}} \cdot \frac{5}{4} = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y), \quad (32)$$



Фиг. 67

Если шаг горизонтальных гвоздей получается более  $40d_{гв}$ , то гвозди рекомендуется располагать в шахмат, как это показано на фиг. 67, с тем однако, чтобы при шахматной расстановке шаг их был не больше  $40 d_{гв}$ . При определении числа гвоздей по ф-лам (31) и (32) последнее условие почти всегда удовлетворяется.

2) Силы  $T^y + T^z$

Число горизонтальных гвоздей назначается конструктивно [ф-ла (21)], а вертикальных — по ф-ле (23), в которой:

$$T_0 = \frac{m_{2max} - m_y}{5} \cdot 2T'_{is} = c_1 Am;$$

$$c_1 = \frac{2T'_{is}}{5}, \quad c_2 = \frac{T'_{is}}{2}.$$

Или  $m_1 = m_{1min}$ , а горизонтальные гвозди исчисляются по ф-ле (25), в которой

$$c_1 = \frac{2T'_{is}}{5}.$$

Тип IV (фиг. 68)

1) Силы  $T^x + T^y$

Ввиду того что верхние и нижние бруски не перекрыты прокладкой, в крайних швах между брусками силы сдвига полностью передаются

на вертикальные гвозди. Число  $m_1$  определяется по формуле:

$$m_1 = \frac{T^x + T^y}{T'_{is}} \cdot 2 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y). \quad (31a)$$

Число  $m_2$  определяется по ф-ле (32), в которой:

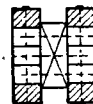
$$c_2 = \frac{T'_{is}}{1,5 - a} \cdot \frac{2}{3}.$$

2) Силы  $T^y + T^z$

Ввиду того что горизонтальные гвозди соединяют с прокладкой только три средних бруска, на вертикальные гвозди в крайних швах между брусками действуют кроме сил  $T^z$  две силы по  $\frac{1}{5} T^y$  в каждом заштрихованном по фиг. 68 бруске.

Следовательно:

$$m_1 = \frac{T^z + \frac{2}{5} T^y}{T'_{is}} \cdot 2 = \frac{1}{c_2} (T^z + 0,4T^y). \quad (33)$$



Фиг. 68

Во втором шве эти гвозди воспримут силу:

$$T_{1-2} = \frac{m_1}{2} \cdot T''_{is} = \alpha (T^z + \frac{2}{5} T^y)$$

[см. вывод ф-лы (32)].

Поэтому:

$$m_2 = \frac{T'' - T_{1-2}}{2T'_{is}} \cdot 2 \cdot \frac{3}{2} + \frac{T^y}{T'_{is}},$$

где

$$T'' = 1,5 T^z.$$

Подставляя вместо  $T''$  и  $T_{1-2}$  их значения, получим:

$$m_2 = \left( \frac{1}{c_3} T^z - \frac{1}{c_5} T^y \right) + m_y, \quad (34)$$

где

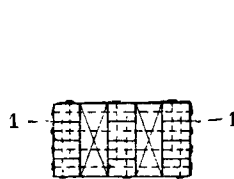
$$c_3 = \frac{T'_{is}}{1,5 (1,5 - a)}, \quad c_5 = \frac{5T'_{is}}{3a}.$$

Величина  $\left( \frac{1}{c_3} T^z - \frac{1}{c_5} T^y \right)$  учитывается только в том случае, если она больше нуля, в противном случае она принимается равной нулю.

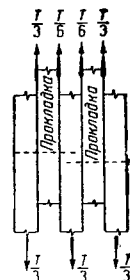
Тип V (фиг. 69)

1) Силы  $T^x + T^y$

Основные положения, принятые при выводе ф-л (28) — (29) для сечений типа II, вполне применимы и для данного типа.



Фиг. 69



Фиг. 70. План верхнего пояса

Характерной особенностью поясов, состоящих из трех (равных по ширине) ветвей, является неравномерное нагружение рабочих срезов го-



ризонтических гвоздей при симметрично действующей на них нагрузке (силы  $T^x$  и  $T^y$ ). Ввиду того что: 1) в каждой ветви действует по  $\frac{1}{3} T^x$  и  $\frac{1}{3} T^y$  (фиг. 70) и на крайние швы приходится нагрузка, в два раза бóльшая, чем на средние, 2) допускаемое усилие на срез горизонтального гвоздя в среднем шве  $T_{ср}^{хр}$  всегда больше половины усилия, допускаемого на тот же гвоздь в крайнем шве  $T_{ср}^{хр}$ , расчет вертикальных гвоздей при нагружении их силами  $T^x + T^y$  производится по прочности крайних швов.

Если часть сдвигающей силы, воспринимаемой горизонтальными гвоздями по шву 1—1, обозначить через  $x$ , то при числе их  $m_2$  во всех брусках и с обеих сторон пояса прочность швов между крайними ветвями пояса и прокладками (фиг. 70) определится зависимостью:

$$\frac{x}{3} = \frac{m_2}{4 \cdot 2} T_{ср}^{хр},$$

откуда:

$$x = \frac{3}{8} m_2 T_{ср}^{хр}. \quad (35)$$

Подставляя это значение  $x$  в ф-лу (27), получим:

$$\frac{3}{8} m_2 T_{ср}^{хр} = \frac{\frac{4}{3} T_{ср}' - T_{ср}''}{2 T_{ср}' - T_{ср}''} \cdot T',$$

и следовательно:

$$m_2 = \frac{1}{c_3} T',$$

где

$$c_3 = \frac{(\frac{4}{3} T_{ср}' - T_{ср}'') 3 T_{ср}^{хр}}{8 (\frac{4}{3} T_{ср}' - T_{ср}'')}. \quad (35)$$

Число  $m_1$  определяется так же, как и в типе II, т. е. по ф-ле (29). В тех случаях, когда число  $m_2$  назначается из условия их расстановки через  $40d_{ср}$ , т. е.  $m_2 = m_{2\min}$ , число вертикальных гвоздей определяется по ф-ле (30), в которой

$$T_0 = \frac{3}{8} m_{2\min} T_{ср}^{хр} = c_1 m_{2\min}, \quad c_2 = T_{ср}'.$$

2) Силы  $T^y + T^y$

Число  $m_2$  с обеих сторон пояса:

$$m_2 = m_{2\max} > m_y = \frac{2T^y}{T_{ср}''}.$$

Допускаемое усилие  $T_{ср}^y$  на срез гвоздя для поясов, состоящих из трех ветвей, определяется по шву между средней ветвью и прокладкой, так как силы сдвига  $T^y$  во всех швах между ветвями и прокладками равны между собой, а прочность гвоздя в среднем шве обычно меньше, чем в крайних.

Число  $m_1$  находится по ф-ле (23), в которой:

$$T_0 = \frac{m_{2\max} - m_y}{4} \cdot \frac{3}{2} T_{ср}^{хр} = c_1 \Delta m;$$

$$c_1 = \frac{3}{8} T_{ср}^{хр}.$$

Если  $m_1 = m_{1\min}$ , то число  $m_2$  определяется по ф-ле (25) при

$$c_1 = \frac{3}{8} T_{ср}^{хр}.$$

Тип VI (фиг. 71)

1) Силы  $T^x + T^y$

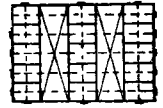
Число  $m_2$  находится по ф-ле (31).

Число  $m_2$  определяется аналогично тому, как это изложено при выводе ф-лы (32), а именно:

$$m_2 = \frac{(1,5 - \frac{\alpha}{2}) (T^x + T^y)}{1,5 T_{ср}^{хр}} \cdot 2 \cdot \frac{5}{4} = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y),$$

где

$$c_3 = \frac{3 T_{ср}^{хр}}{5 (1,5 - \frac{\alpha}{2})}.$$



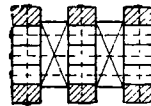
Фиг. 71

Указания о размещении горизонтальных гвоздей, приведенные для типа III, остаются в силе и для типа VI.

2) Силы  $T^y + T^y$

Число  $m_2$  назначается конструктивно [ф-ла (21)], а число  $m_1$  — по ф-ле (23), в которой:

$$T_0 = \frac{m_{2\max} - m_y}{5} \cdot \frac{3}{2} T_{ср}^{хр} = c_1 \Delta m;$$



Фиг. 72

$$c_1 = \frac{3 T_{ср}^{хр}}{10};$$

$$c_2 = \frac{T_{ср}''}{2}.$$

Если же  $m_1 = m_{1\min}$ , то горизонтальные гвозди рассчитываются по ф-ле (25).

Тип VII (фиг. 72)

1) Силы  $T^x + T^y$

Число  $m_1$  определяется по ф-ле (31a), а число  $m_2$  — по ф-ле (32), в которой:

$$c_3 = \frac{1,5 T_{ср}^{хр}}{(1,5 - \alpha) 2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{T_{ср}^{хр}}{2(1,5 - \alpha)}.$$

2) Силы  $T^y + T^y$

По аналогии с ф-лой (33) число  $m_1$ :

$$m_1 = \frac{T^y + \frac{3}{5} T^y}{T_{ср}''} \cdot 2 =$$

$$= \frac{1}{c_2} (T^y + 0,6 T^y). \quad (36)$$

Число  $m_2$  см. ф-лу (34):

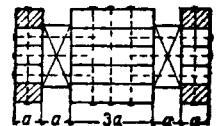
$$m_2 = \frac{T^x - T_{1-2}}{1,5 T_{ср}^{хр}} \cdot 2 \cdot \frac{3}{2} + \frac{2 T^y}{T_{ср}''} =$$

$$= \left( \frac{1}{c_3} T^x - \frac{1}{c_5} T^y \right) + m_y, \quad (34a)$$

где

$$c_3 = \frac{T_{ср}^{хр}}{2(1,5 - \alpha)};$$

$$c_5 = \frac{T_{ср}^{хр}}{1,2\alpha}.$$



Фиг. 73

Тип VIII (фиг. 73)

1) Силы  $T^x + T^y$

Особенностью поясов

этого типа, так же как и поясов из трех равных по ширине ветвей, является неравномерное нагружение горизонтальных гвоздей силами  $T^x + T^y$ , обусловленное несоответствием между шириной крайних и средней ветвью.

Вследствие того что ширина средней ветви в три ( $\alpha$  не в два) раза больше ширины крайних ветвей (фиг. 74), швы между средней ветвью и прокладками получают нагрузку, в полтора

раза больше, чем швы между крайними ветвями и прокладками.

Поэтому расчет горизонтальных гвоздей при нагружении их силами  $T^x$  и  $T^y$  производится по прочности швов между средней ветвью и прокладками.

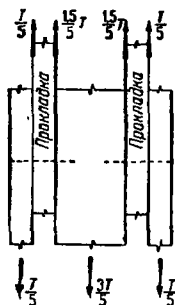
Число  $m_1$  определяется по ф-ле (31а), причем в крайних ветвях размещают по  $\frac{1}{5} m_1$  и в средней —  $\frac{3}{5} m_1$ . Число  $m_2$  определяется по ф-ле (32), в которой:

$$c_3 = \frac{5}{3} \frac{T_{16}^{cp}}{T_{16}^{cp}} \cdot \frac{2}{3} = \frac{5T_{16}^{cp}}{9(1,5 - \alpha)}$$

где  $T_{16}^{cp}$  — допускаемое усилие на срез горизонтального гвоздя по шву между средней ветвью и прокладкой.

2) Силы  $T^y$  и  $T^x$ .

В крайних ветвях пояса каждый из заштрихованных на фиг. 73 брусков сдвигается



силами  $\frac{T^y}{5}$  и  $\frac{T^x}{5}$ , которые должны быть полностью восприняты одними вертикальными гвоздями.

В средней ветви сила  $T^y$  отсутствует, поэтому вертикальные гвозди этой ветви можно было бы рассчитать только по силе  $\frac{T^x}{3}$ . Но, учитывая, что

Фиг. 74. План верхнего пояса

при таком методе расчета гвоздей средняя ветвь будет обладать меньшей прочностью, чем крайние ветви в плоскости фермы, число вертикальных гвоздей для нее принимается соответственно ширине сечения в три раза больше, чем для каждой из крайних ветвей. При этом полное число  $m_1$  найдется по формуле:

$$m_1 = \frac{T^x + T^y}{5T_{16}^{cp}} \cdot 5 \cdot 2 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y). \quad (37)$$

Число  $m_2$  определяется по аналогии с ф-лой (34), именно:

$$m_2 = \frac{T^x - T_{1-2}}{\frac{5}{3} T_{16}^{cp}} \cdot 2 \cdot \frac{3}{2} + \frac{2T^y}{T_{16}^{cp}} = \left( \frac{1}{c_3} T^x - \frac{1}{c_5} T^y \right) + m_y,$$

где

$$c_3 = \frac{5}{9} \cdot \frac{T_{16}^{cp}}{1,5 - \alpha}, \quad c_5 = \frac{5T_{16}^{cp}}{9\alpha}$$

Все необходимые данные по расчету гвоздей верхнего пояса для рекомендуемых типов поперечных сечений приведены в табл. 13, пользование которой значительно облегчает процесс расчета.

### 5) Расчет нижнего пояса

Нижний пояс сегментных ферм воспринимает кроме растягивающих усилий изгибающие моменты, возникающие в узлах пояса от эксцентричного прикрепления к нему элементов решетки.

В связи с этим опасными сечениями пояса могут быть:

1) сечения у стыков или у опорных узлов, т. е. в месте наибольшего ослабления пояса, и 2) сечения в узлах, где изгибающие моменты имеют наибольшее значение.

В фермах с кровлей по верхнему поясу и в фермах с надстройками наибольшие напряжения возникают в ослабленных сечениях стыков при равномерном нагружении ферм полной расчетной нагрузкой<sup>1</sup>. Ввиду малой напряженности решетки и сравнительно небольшого ослабления пояса в узлах (меньшего, чем в стыках) узловые моменты в этом случае могут не учитываться. При одностороннем нагружении фермы (фиг. 54, б) усилия в решетке, а следовательно и узловые моменты имеют наибольшее значение, но так как усилия в нижнем поясе получаются значительно меньшими, чем при нагрузке по всему пролету, то в данном случае суммарные напряжения в узле не превышают напряжений в стыках при равномерном нагружении всей фермы. Расчетные напряжения при растяжении пояса определяются по формуле:

$$n_+ = \frac{N_{\max}}{F_n}, \quad (38)$$

где  $N$  — наибольшее растягивающее усилие в панели со стыком;

$F_n$  — площадь нетто поперечного сечения пояса в стыке.

В фермах с фонарем решетка нагружена сильнее, чем в фермах двух других типов. Объясняется это характером распределения нагрузки по верхнему поясу как при равномерном, так и при неравномерном (фиг. 55, б) нагружении ферм. Вследствие этого в фермах с фонарем расчетными обычно являются сечения в узлах с наибольшим моментом от эксцентричного прикрепления раскосов.

Расчетные напряжения в поясе определяются при этом по формуле:

$$n_+ = \frac{N}{F_n} + \frac{M_{\max}}{W_n}, \quad (39)$$

где  $M_{\max}$  — наибольший момент в узле;

$N$  — растягивающее усилие в панели, примыкающей к расчетному узлу;

$W_n$  — момент сопротивления пояса нетто;

$F_n$  — площадь пояса нетто с учетом ослабления его в узле.

Обычно  $W_n \approx 0,9W$ ,  $F_n \approx 0,85F$ .

Для встречающихся в практике типов поперечных сечений нижнего пояса величины  $0,9W$  и  $0,85F$  приведены в табл. 14, где кроме того указаны диаметры  $d$  нагелей в стыках нижнего пояса, число  $n$  рядов нагелей по высоте пояса и соответствующая этому рабочая площадь  $F_n$  поперечного сечения пояса в стыке.

Напряжения в нижнем поясе от узловых моментов могут изменяться в больших пределах в зависимости от схемы фонаря и от его положения на ферме. В некоторых случаях напряжения в стыках пояса [без учета моментов по ф-ле (38)] могут быть больше, чем в узлах [по ф-ле (39)], поэтому при расчете нижнего пояса ферм с фонарем необходимо проверять оба эти сечения.

При определении узловых моментов необходимо учитывать возможность устройства стыка в панели, примыкающей к расчетному узлу (фиг. 75); стык принято считать за шарнир, а потому панель  $AB$  пояса можно рассматривать как

<sup>1</sup> За исключением случаев, когда снеговая нагрузка значительно больше постоянной.

Таблица 13

Данные для расчета гвоздей верхнего пояса 1

| Типы сечений<br>верхнего пояса | Формулы для расчета гвоздей  |  | Силы $T^x + T^y$   |  | Силы $T^y + T^x$    |                     | Размеры гвоздей                   |                                   | Постоянные коэффициенты      |                              |  |  |  |                        |                     |                     |                     |  |  |
|--------------------------------|--|--|--|--|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|--|--|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|--|
|                                |  |  |  |  |                     |                     | Размеры пояса<br>в см             |                                   | $d_{гв}$                     | $l$                          | $d_{гв}$   | $l$  | $c_1$                                    | $c_2$                  | $c_3$               | $c_4$               | $c_5$               | $c_y$                                    |  |
|                                |  |  |  |  |                     |                     | $a$                               | $h$                               |                              |                              |  |  |  |                        |                     |                     |                     |  |  |
|                                | $m_2 = m_3 \min$<br>$m_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y - c_1 m_2 \min)$   | $m_2 = m_3 \max \geq m_y$<br>$m_y = \frac{c_y}{T^y}$   | $m_1 = \frac{1}{c_4} (T^x + T^y)$<br>ИЛИ<br>$m_2 = m_3 \min$ ;<br>$m_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y - c_1 m_2 \min)$                                   | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | 4, 4, 4, 5, 5, 6, 7 | 4, 4, 4, 5, 5, 6, 7 | 4,0, 4,0, 4,0, 5,0, 5,0, 5,0, 5,5 | 110, 110, 110, 150, 150, 150, 175 | 4,0, 5,0, 5,0, 5,0, 5,5, 5,5 | 110, 150, 150, 150, 175, 175 | 30,7, 46,0, 48,0, 45,3, 48,0, 72,0, 58,0, 55,7, 72,0 | 46,0, 48,0, 48,0, 48,0, 72,0, 72,0, 72,0                 | —, —, —, —, —, —, —                      | —, —, —, —, —, —, —    | —, —, —, —, —, —, — | —, —, —, —, —, —, — | —, —, —, —, —, —, — | —, —, —, —, —, —, —                      | 48,0, 72,0, 68,0, 72,0, 87,0, 87,0, 83,5 |
|                                | $m_1 = \frac{1}{c_4} (T^x + T^y)$<br>ИЛИ<br>$m_2 = m_3 \min$ ;<br>$m_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y - c_1 m_2 \min)$                                   | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | $m_1 = \frac{1}{c_4} (T^x + T^y)$<br>ИЛИ<br>$m_2 = m_3 \min$ ;<br>$m_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y - c_1 m_2 \min)$                                   | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | 4, 4, 5, 5, 6, 7    | 4, 4, 5, 5, 6, 7    | 4,0, 4,0, 5,0, 5,0, 5,5, 5,5      | 110, 150, 150, 175, 175           | 4,0, 5,0, 5,0, 5,5, 5,5      | 110, 150, 150, 175, 175      | 23,0, 36,0, 34,0, 36,0, 43,5, 41,5, 41,5             | 57,4, 107,5, 104,0, 57,4, 192,0, 67,0, 33,0, 222,0, 67,0 | 86,0, 86,0, 86,0, 86,0, 82,5, 82,5, 82,5 | —, —, —, —, —, —, —    | —, —, —, —, —, —, — | —, —, —, —, —, —, — | —, —, —, —, —, —, — | 45,0, 72,0, 68,0, 72,0, 87,0, 87,0, 83,5 |  |
|                                | $m_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y)$<br>$m_2 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$   | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | $m_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y)$<br>$m_2 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$   | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | 5, 6                | 4, 4                | 4,0, 4,0                          | 110, 110                          | 5,0, 5,0                     | 150, 180                     | 28,8, 27,3   | 23,0, 23,0   | —, —                                     | —, —                   | —, —                | —, —                | —, —                | 72,0, 68,0                               |  |
|                                | $m_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y)$<br>$m_2 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$   | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | $m_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y)$<br>$m_2 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$   | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | 6, 7                | 5, 5, 6, 7          | 5,0, 5,0, 5,5, 5,5                | 135, 126, 150, 150                | 5,5, 5,5, 5,5, 5,5           | 175, 175, 175, 175           | —, —, —, —   | 35,0, 36,0, 43,4, 43,4                                   | 76,7, 73,0, 83,3, 80,0                   | —, —, —, —             | —, —, —, —          | —, —, —, —          | —, —, —, —          | 87,0, 83,5, 87,0, 83,5                   |  |
|                                | $m_2 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$ ; $m_1 = \frac{1}{c_4} (T^x + T^y)$<br>ИЛИ<br>$m_2 = m_2 \min$<br>$m_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y - c_1 m_2 \min)$ | $m_2 = m_2 \max \geq m_y$<br>$T^y$ ; $m_1 = \frac{1}{c_2} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$ | $m_2 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$ ; $m_1 = \frac{1}{c_4} (T^x + T^y)$<br>ИЛИ<br>$m_2 = m_2 \min$<br>$m_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y - c_1 m_2 \min)$ | $m_2 = m_2 \max \geq m_y$<br>$T^y$ ; $m_1 = \frac{1}{c_2} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$ | 5, 6, 6, 7          | 4, 4, 5, 5          | 5,0, 5,0, 5,5, 5,5                | 150, 150, 175, 175                | 5,0, 5,0, 5,5, 5,5           | 125, 150, 150, 175           | 27,0, 27,0, 32,6, 32,6                               | 57,4, 57,4, 67,0, 67,0                                   | 81,2, 81,2, 172,5, 172,5                 | 86,0, 86,0, 82,5, 82,5 | —, —, —, —          | —, —, —, —          | —, —, —, —          | 26,5, 32,0, 35,5, 40,0                   |  |
|                                | $m_1 = \frac{1}{2c_2} (T^x + T^y)$<br>$m_2 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$  | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | $m_1 = \frac{1}{2c_2} (T^x + T^y)$<br>$m_2 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$  | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | 5, 6                | 4, 4                | 4,0, 4,0                          | 110, 110                          | 5,0, 5,0                     | 125, 150                     | 21,6, 21,6   | 23,0, 23,0   | 43,3, 41,7                               | —, —                   | —, —                | —, —                | —, —                | 26,5, 82,0                               |  |
|                                | $m_1 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$  | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | $m_1 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$  | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | 6, 7, 6, 6, 7       | 5, 5, 6, 6          | 5,0, 5,0, 5,5, 5,5                | 125, 125, 150, 150                | 5,5, 5,5, 5,5, 5,5           | 175, 175, 175, 175           | —, —, —, —   | 36,0, 36,0, 43,4, 43,4                                   | 56,8, 56,8, 62,4, 62,4                   | —, —, —, —             | —, —, —, —          | —, —, —, —          | —, —, —, —          | 36,5, 40,0, 35,5, 40,0                   |  |
|                                | $m_1 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$  | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | $m_1 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$  | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | 6, 7, 6, 6, 7       | 5, 5, 6, 6          | 5,0, 5,0, 5,5, 5,5                | 125, 125, 150, 150                | 5,5, 5,5, 5,5, 5,5           | 175, 175, 175, 175           | —, —, —, —   | 36,0, 36,0, 43,4, 43,4                                   | 56,8, 56,8, 62,4, 62,4                   | —, —, —, —             | —, —, —, —          | —, —, —, —          | —, —, —, —          | 36,5, 40,0, 35,5, 40,0                   |  |
|                                | $m_1 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$  | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | $m_1 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y)$  | $m_1 = \frac{1}{c_3} [T^y - c_1 (m_2 \max - m_y)]$<br>ИЛИ<br>$m_1 = m_1 \min$<br>$m_2 = \frac{1}{c_1} (T^y - c_2 m_1 \min) + m_y$                                      | 6, 7, 6, 6, 7       | 5, 5, 6, 6          | 5,0, 5,0, 5,5, 5,5                | 125, 125, 150, 150                | 5,5, 5,5, 5,5, 5,5           | 175, 175, 175, 175           | —, —, —, —   | 36,0, 36,0, 43,4, 43,4                                   | 56,8, 56,8, 62,4, 62,4                   | —, —, —, —             | —, —, —, —          | —, —, —, —          | —, —, —, —          | 43,5, 40,0, 43,5, 40,0                   |  |

1 Обозначения см. стр. 324.

Таблица 14

Данные для подбора сечений нижнего пояса

| h  | d — диаметр нагелей в стыках |       | n — число рисок по высоте |       | d = 12 |       | d = 16 |       |
|----|------------------------------|-------|---------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
|    | a = 4                        | a = 5 | a = 6                     | a = 7 | a = 6  | a = 7 | a = 6  | a = 7 |
| 12 | 82                           | 102   | 216                       | 259   | 302    | 388   | 453    | 518   |
| 13 | 98                           | 118   | 254                       | 305   | 355    | 458   | 532    | 604   |
| 14 | 116                          | 139   | 294                       | 353   | 411    | 527   | 616    | 710   |
| 15 | 132                          | 158   | 337                       | 404   | 471    | 606   | 706    | 822   |
| 16 | 149                          | 179   | 382                       | 459   | 535    | 689   | 802    | 942   |
| 17 | 161                          | 193   | 433                       | 520   | 606    | 780   | 910    | 1070  |
| 18 | 173                          | 207   | 488                       | 583   | 680    | 873   | 1020   | 1212  |
| 19 | 185                          | 226   | 543                       | 648   | 759    | 975   | 1135   | 1360  |
| 20 | 197                          | 244   | 600                       | 720   | 840    | 1080  | 1260   | 1516  |
| 21 | 206                          | 254   | 662                       | 793   | 925    | 1188  | 1386   | 1680  |
| 22 | 218                          | 275   | 721                       | 867   | 1010   | 1300  | 1514   | 1850  |
| 23 | 230                          | 297   | 785                       | 952   | 1110   | 1440  | 1665   | 2020  |
| 24 | 242                          | 320   | 854                       | 1037  | 1210   | 1583  | 1824   | 2240  |
| 25 | 254                          | 344   | 928                       | 1125  | 1310   | 1730  | 1996   | 2420  |
| 26 | 264                          | 368   | 1000                      | 1216  | 1418   | 1880  | 2222   | 2696  |

простую балку с консолью AC, нагруженную сосредоточенными силами N. В зависимости от направления усилий и от соотношения между величинами сил N и их плечами e (фиг. 76) наибольший момент M<sub>max</sub> получается или на оси опоры (в центре узла) или же под силой N<sub>2</sub>.

Для схемы, представленной на фиг. 75, M<sub>max</sub> обычно соответствует сечению под силой N<sub>2</sub> и с достаточной для практики точностью определяется по формуле:

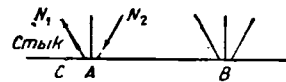
$$M_{max} = N_1 e_1 + N_2 e_2. \quad (40)$$

Если силы N<sub>1</sub> и N<sub>2</sub> имеют одинаковое направление, то M<sub>max</sub> определяется по наибольшему из значений:

$$M_A = -N_1 e_1 \quad (41)$$

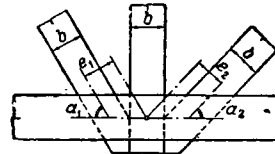
или

$$M_k = -N_1 e_1 + N_2 e_2. \quad (42)$$



Фиг. 75. Расчетная схема изгиба нижнего пояса

Плечи e<sub>1</sub> и e<sub>2</sub> могут быть определены графически или аналитически. В последнем случае при пересечении смежных кромок раскосов и стойки на оси нижнего пояса и при одинаковой ширине решетки плечи e в соответствии с обозначениями по фиг. 76 найдутся из выражений:



Фиг. 76. Узел нижнего пояса

$$e_1 = \frac{b}{2} (\sin \alpha_1 + 1) \quad (43)$$

и

$$e_2 = \frac{b}{2} (\sin \alpha_2 + 1). \quad (43a)$$

Стыки нижнего пояса рассчитываются по общепринятому для нагельных соединений методу.

В стыке нормальной конструкции (фиг. 17) усилие, действующее в поясе, распределяется поровну между всеми швами, поэтому число m нагелей или гвоздей с каждой стороны стыка определяется по формуле:

$$m = \frac{N_+}{n T_n}, \quad (44)$$

где N<sub>+</sub> — растягивающее усилие в поясе;

T<sub>n</sub> — допускаемое усилие на один срез нагеля или гвоздя;

n — число срезов нагеля или гвоздя.




Величины допускаемых усилий n · T<sub>n</sub> на один нагель и гвоздь для встречающихся в практике случаев приведены в табл. 15 и 16.

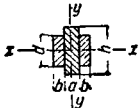
### 6) Расчет решетки

Размеры поперечного сечения элементов решетки определяются конструктивными данными (стр. 302) и условиями устойчивости сжатых элементов на продольный изгиб. Сечения

Таблица 15

Допускаемые усилия на один стальной цилиндрический нагель в стыках нижнего пояса

| Тип сечений   | Размеры сечения |        | Диаметр нагеля d в мм | Допускаемое усилие на один нагель T <sub>n</sub> в кг |
|---|-----------------|--------|-----------------------|---|
|   | a в см          | c в см |                       |   |
|  | 5               | 3,5    | 12                    | 864   |
|   | 6               | 4      | 12                    | 916   |
|   | 7               | 5      | 16                    | 1 6 12  |
|  | 5               | 3,5    | 12                    | 1 296   |
|   | 6               | 4      | 12                    | 1 374   |
|   | 7               | 5      | 16                    | 2 420   |
|  | 6               | 4      | 12                    | 1 832   |
|   | 7               | 5      | 16                    | 3 224   |




Данные для подбора сечений элементов решетки

| Размеры сечения |    |     |   | Глубина | Радиусы инерции |                | $2k_{сдс} \cdot \frac{S[n_u]}{Z[n_{-}]F}$ | Размеры сечения |   |     |   | Глубина | Радиусы инерции |                | $2k_{сдс} \cdot \frac{S[n_u]}{Z[n_{-}]F}$ |       |       |
|-----------------|----|-----|---|---------|-----------------|----------------|---|-----------------|---|-----|---|---------|-----------------|----------------|---|-------|-------|
| a               | h  | b   | d |         | r <sub>x</sub>  | r <sub>y</sub> |   | a               | h | b   | d |         | r <sub>x</sub>  | r <sub>y</sub> |   |       |       |
| 4               | 10 | 3   | 8 | 7       | 82              | 2,48           | 2,54                                      | 0,406           | 6 | 5   | 8 | 15      | 170             | 3,53           | 3,85                                      | 0,366 |       |
|                 | 12 |     |   | 88      | 2,94            | 2,52           | 16  |                 |   |     |   | 186     | 3,73            | 3,90           | 0,376                                     |       |       |
|                 | 13 |     |   | 96      | 3,14            | 2,47           | 17  |                 |   |     |   | 192     | 4,00            | 3,85           | 0,364                                     |       |       |
|                 | 14 |     |   | 104     | 3,45            | 2,59           | 18  |                 |   |     |   | 198     | 4,22            | 3,80           | 0,354                                     |       |       |
|                 | 15 |     |   | 108     | 3,58            | 2,55           | 19  |                 |   |     |   | 204     | 4,45            | 3,75           | 0,344                                     |       |       |
|                 | 16 |     |   | 112     | 3,83            | 2,56           | 20  |                 |   |     |   | 210     | 4,68            | 3,70           | 0,334                                     |       |       |
|                 | 17 |     |   | 116     | 4,05            | 2,55           | 21  |                 |   |     |   | 216     | 4,92            | 3,67           | 0,324                                     |       |       |
|                 | 18 |     |   | 120     | 4,28            | 2,52           | 22  |                 |   |     |   | 222     | 5,17            | 3,63           | 0,316                                     |       |       |
|                 | 19 |     |   | 124     | 4,52            | 2,49           | 23  |                 |   |     |   | 228     | 5,42            | 3,59           | 0,308                                     |       |       |
|                 | 20 |     |   | 128     | 4,75            | 2,46           | 24  |                 |   |     |   | 234     | 5,67            | 3,55           | 0,300                                     |       |       |
| 5               | 10 | 3,5 | 8 | 7       | 99              | 2,50           | 3,05                                      | 0,398           | 7 | 3,5 | 8 | 10      | 119             | 2,56           | 3,54                                      | 0,350 |       |
|                 | 12 |     |   | 116     | 2,96            | 3,02           | 0,383                                     |                 |   |     |   | 12      | 140             | 3,06           | 3,51                                      |       | 0,340 |
|                 | 13 |     |   | 121     | 3,17            | 2,96           | 0,372                                     |                 |   |     |   | 13      | 147             | 3,28           | 3,44                                      |       | 0,324 |
|                 | 14 |     |   | 126     | 3,33            | 2,91           | 0,358                                     |                 |   |     |   | 14      | 154             | 3,51           | 3,39                                      |       | 0,308 |
|                 | 15 |     |   | 131     | 3,61            | 2,38           | 0,344                                     |                 |   |     |   | 15      | 161             | 3,76           | 3,34                                      |       | 0,296 |
|                 | 16 |     |   | 143     | 3,86            | 2,91           | 0,352                                     |                 |   |     |   | 16      | 175             | 4,01           | 3,38                                      |       | 0,306 |
|                 | 17 |     |   | 148     | 4,07            | 2,86           | 0,340                                     |                 |   |     |   | 17      | 182             | 4,25           | 3,33                                      |       | 0,294 |
|                 | 18 |     |   | 153     | 4,32            | 2,83           | 0,330                                     |                 |   |     |   | 18      | 189             | 4,50           | 3,29                                      |       | 0,284 |
|                 | 19 |     |   | 158     | 4,54            | 2,80           | 0,320                                     |                 |   |     |   | 19      | 196             | 4,76           | 3,25                                      |       | 0,274 |
|                 | 20 |     |   | 163     | 4,80            | 2,77           | 0,310                                     |                 |   |     |   | 20      | 203             | 5,01           | 3,21                                      |       | 0,264 |
| 6               | 10 | 3,5 | 8 | 7       | 109             | 2,53           | 3,29                                      | 0,370           | 7 | 3,5 | 8 | 10      | 140             | 2,49           | 4,32                                      | 0,400 |       |
|                 | 12 |     |   | 128     | 3,01            | 3,25           | 0,362                                     |                 |   |     |   | 12      | 164             | 2,96           | 4,27                                      |       | 0,390 |
|                 | 13 |     |   | 134     | 3,23            | 3,21           | 0,346                                     |                 |   |     |   | 13      | 171             | 3,16           | 4,21                                      |       | 0,374 |
|                 | 14 |     |   | 140     | 3,45            | 3,15           | 0,332                                     |                 |   |     |   | 14      | 178             | 3,38           | 4,14                                      |       | 0,358 |
|                 | 15 |     |   | 146     | 3,69            | 3,10           | 0,318                                     |                 |   |     |   | 15      | 185             | 3,60           | 4,08                                      |       | 0,346 |
|                 | 16 |     |   | 159     | 3,94            | 3,14           | 0,326                                     |                 |   |     |   | 16      | 202             | 3,85           | 4,13                                      |       | 0,356 |
|                 | 17 |     |   | 165     | 4,18            | 3,09           | 0,314                                     |                 |   |     |   | 17      | 209             | 4,08           | 4,08                                      |       | 0,344 |
|                 | 18 |     |   | 171     | 4,42            | 3,06           | 0,304                                     |                 |   |     |   | 18      | 216             | 4,31           | 4,03                                      |       | 0,332 |
|                 | 19 |     |   | 177     | 4,67            | 3,02           | 0,294                                     |                 |   |     |   | 19      | 223             | 4,54           | 3,97                                      |       | 0,322 |
|                 | 20 |     |   | 183     | 4,92            | 2,99           | 0,284                                     |                 |   |     |   | 20      | 230             | 4,79           | 3,93                                      |       | 0,312 |
| 8               | 12 | 5   | 8 | 8       | 152             | 2,92           | 4,04                                      | 0,410           | 7 | 3,5 | 8 | 18      | 216             | 4,31           | 4,03                                      | 0,332 |       |
|                 | 13 |     |   | 158     | 3,11            | 3,98           | 0,394                                     |                 |   |     |   | 19      | 223             | 4,54           | 3,97                                      |       | 0,322 |
|                 | 14 |     |   | 164     | 3,31            | 3,91           | 0,380                                     |                 |   |     |   | 20      | 230             | 4,79           | 3,93                                      |       | 0,312 |
|                 | 15 |     |   | 171     | 3,52            | 3,85           | 0,366                                     |                 |   |     |   | 21      | 237             | 5,03           | 3,88                                      |       | 0,304 |
|                 | 16 |     |   | 178     | 3,74            | 3,79           | 0,352                                     |                 |   |     |   | 22      | 244             | 5,28           | 3,84                                      |       | 0,294 |
|                 | 17 |     |   | 185     | 3,97            | 3,73           | 0,338                                     |                 |   |     |   | 23      | 251             | 5,54           | 3,80                                      |       | 0,286 |
|                 | 18 |     |   | 192     | 4,21            | 3,67           | 0,324                                     |                 |   |     |   | 24      | 258             | 5,80           | 3,75                                      |       | 0,278 |
|                 | 19 |     |   | 199     | 4,46            | 3,61           | 0,310                                     |                 |   |     |   | 25      | 265             | 6,06           | 3,71                                      |       | 0,272 |
|                 | 20 |     |   | 206     | 4,71            | 3,55           | 0,296                                     |                 |   |     |   | 26      | 272             | 6,32           | 3,68                                      |       | 0,264 |

Таблица 17

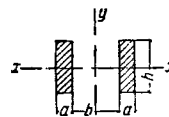
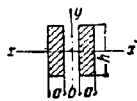
Таблица 16  
Допускаемые усилия на один гвоздь в стыках нижнего пояса

| Тип сечения   | Размеры сечения |        | Размеры гвоздей | Допускаемое усилие на один гвоздь T <sub>г</sub> в кг |
|---|-----------------|--------|-----------------|---|
|   | a в см          | c в см |                 |   |
|  | 4               | 4      | 4x110           | 92  |
|   | 5               | 3,5    | 5x110           | 124   |
|   | 6               | 6      | 5,5x150         | 159   |
|   | 7               | 5      | 5,5x150         | 159   |

растянутых элементов решетки вследствие небольшого ослабления их в узлах пояса могут не рассчитываться, так как напряжения в них всегда значительно меньше допускаемых. Продольный изгиб сжатых элементов учитывается в предположении шарнирного закрепления концов решетки в поясах. Поэтому свободную длину сжатого раскоса или стойки принимают равной длине их между осями поясов.

Таблица 18

Данные для подбора сечений элементов решетки



| Размеры досок |             | $F_{\text{брутто}}$<br>в см <sup>2</sup> | Радиусы инерции |            |          | Размеры досок |             | $F_{\text{брутто}}$<br>в см <sup>2</sup> | Радиусы инерции |            |          |
|---------------|-------------|--|-----------------|------------|----------|---------------|-------------|--|-----------------|------------|----------|
| $a$<br>в см   | $h$<br>в см |  | $r_x$<br>в см   | $r_y$ в см |          | $a$<br>в см   | $h$<br>в см |  | $r_x$<br>в см   | $r_y$ в см |          |
|               |             |  |                 | $b = a$    | $b = 3a$ |               |             |  |                 | $b = a$    | $b = 3a$ |
| 5             | 10          | 100                                      | 2,59            | 4,89       | —        | 6             | 19          | 228                                      | 5,49            | 5,87       | 11,40    |
|               | 12          | 120                                      | 3,46            |            |          |               | 20          | 240                                      | 5,77            |            |          |
|               | 13          | 130                                      | 3,75            |            |          |               | 21          | 252                                      | 6,06            |            |          |
|               | 14          | 140                                      | 4,04            |            |          |               | 22          | 264                                      | 6,35            |            |          |
|               | 15          | 150                                      | 4,33            |            |          |               | 23          | 276                                      | 6,64            |            |          |
|               | 16          | 160                                      | 4,62            |            |          |               | 24          | 288                                      | 6,93            |            |          |
|               | 17          | 170                                      | 4,91            |            |          |               | 25          | 300                                      | 7,22            |            |          |
|               | 18          | 180                                      | 5,20            |            |          |               | 26          | 312                                      | 7,51            |            |          |
|               | 19          | 190                                      | 5,49            |            |          |               |             |  |                 |            |          |
|               | 20          | 200                                      | 5,77            |            |          |               |             |  |                 |            |          |
|               | 21          | 210                                      | 6,06            |            |          |               |             |  |                 |            |          |
|               | 22          | 220                                      | 6,35            |            |          |               |             |  |                 |            |          |
| 6             | 10          | 120                                      | 2,89            | 5,87       | 11,40    | 7             | 10          | 140                                      | 2,89            | 6,85       | 13,30    |
|               | 12          | 144                                      | 3,46            |            |          |               | 12          | 168                                      | 3,46            |            |          |
|               | 13          | 156                                      | 3,75            |            |          |               | 13          | 182                                      | 3,75            |            |          |
|               | 14          | 168                                      | 4,04            |            |          |               | 14          | 196                                      | 4,04            |            |          |
|               | 15          | 180                                      | 4,33            |            |          |               | 15          | 210                                      | 4,33            |            |          |
|               | 16          | 192                                      | 4,62            |            |          |               | 16          | 224                                      | 4,62            |            |          |
|               | 17          | 204                                      | 4,91            |            |          |               | 17          | 238                                      | 4,91            |            |          |
|               | 18          | 216                                      | 5,20            |            |          |               | 18          | 252                                      | 5,20            |            |          |
|               |             |  |                 |            |          |               | 19          | 266                                      | 5,49            |            |          |
|               |             |  |                 |            |          |               | 20          | 280                                      | 5,77            |            |          |
|               |             |  |                 |            |          |               | 21          | 294                                      | 6,06            |            |          |
|               |             |  |                 |            |          |               | 22          | 308                                      | 6,35            |            |          |
|               |             |  | 23              | 322        | 6,64     |               |             |  |                 |            |          |
|               |             |  | 24              | 336        | 6,93     |               |             |  |                 |            |          |
|               |             |  | 25              | 350        | 7,22     |               |             |  |                 |            |          |
|               |             |  | 26              | 364        | 7,51     |               |             |  |                 |            |          |

Расчетные напряжения определяются, как обычно, для сжатых стержней по формуле:

$$n = \frac{N}{F \varphi_{\min}}, \quad (45)$$

где  $N$  — сжимающее усилие;

$F$  — площадь поперечного сечения брутто;

$\varphi_{\min}$  — коэффициент уменьшения допускаемых напряжений (для решетки из двух ветвей  $\varphi_x$  или  $\varphi_y \cdot \varphi_1$ ).

Геометрические характеристики поперечных сечений элементов решетки приведены в табл. 17 и 18.

Сечения, представленные в табл. 17, принято рассматривать как обычные составные, т. е. без учета того, что нагрузка на такие стержни передается только через средний элемент (нашивки с поясами ничем не соединены). Такое упрощение расчета в этом случае допустимо потому, что по данным испытаний сегментных ферм коэффициент зазаса в элементах решетки с нашивками не меньше, чем в поясах. Кроме того необходимо учесть, что защемление решетки в поясах, не учитываемое в расчете, также повышает устойчивость ее сжатых элементов.

Силы сдвига между основными досками и нашивками или прокладками определяются по фл. (7) и по табл. 12 и 17.

Допускаемые усилия на гвозди, воспринимающие эти силы, приведены в табл. 19.

Таблица 19  
Допускаемые усилия на один гвоздь соединения элементов решетки

| Тип сечения решетки | Размеры |     | Размеры гвоздей | Допускаемое усилие на гвоздь $T_{гв}$ в кг |
|---------------------|---------|-----|-----------------|--|
|                     | $a$     | $b$ |                 |  |
|                     | 4       | 3   | 4×100           | 46   |
|                     | 5       | 3,5 | 4×110           | 44   |
|                     | 6       | 3,5 | 5×125           | 68   |
|                     | 6       | 5   | 5×150           | 72   |
|                     | 7       | 3,5 | 5×125           | 55   |
|                     | 5       | —   | 5×125           | 63   |
|                     | 6       | —   | 5×150           | 68   |
|                     | 7       | —   | 5,5×175         | 83   |
|                     | 6       | —   | 5×100           | 72   |
|                     | 7       | —   | 5×110           | 72   |

Расчет числа гвоздей  $m_p$  для прикрепления решетки к поясам производится по формуле:

$$m_p = \frac{N_{\max}}{T_{гв}}, \quad (46)$$

где  $N_{\max}$  — наибольшее по абсолютной величине усилие в расчетном элементе;

Таблица 20

$T_{до}$  — допускаемое усилие на один гвоздь (обычно двусрезный).

Величины  $T_{до}$  в зависимости от размеров пояса и гвоздей приведены в табл. 20.

При одинаковой ширине всех элементов решетки расчет производится по наиболее напряженному. Ширина решетки в большинстве случаев определяется условием размещения гвоздей  $m_p$  в узлах, поэтому принят следующий порядок расчета:

- 1) по ф-ле (46) находят число гвоздей  $m_p$ ;
- 2) по числу гвоздей  $m_p$  определяют ширину элементов решетки, необходимую для размещения этих гвоздей в узлах верхнего пояса;
- 3) в полученном таким образом сечении проверяют напряжения по ф-ле (45) и при необходимости увеличивают его в ширину или применяют нашивки (для одиночной решетки).

Необходимая ширина элементов решетки по числу гвоздей может быть получена по табл. 21.

7) Расчет опорных узлов

В зависимости от конструкций опорных узлов расчетными элементами их являются:

- 1) тяжи, хомуты или плоскости скалывания в щечковых врубках;

Допускаемые усилия на один гвоздь крепления элементов решетки к поясам

| Тип сечения верхнего пояса | Размеры |   | Размеры гвоздей | Допускаемое усилие на один гвоздь $T_{до}$ в кг |
|----------------------------|---------|---|-----------------|---|
|                            | a       | h |                 |   |
|                            | 4       | 4 | 4x110           | 92  |
|                            | 5       | 4 | 5x150           | 144   |
|                            | 6       | 4 | 5x150           | 136   |
|                            | 5       | 5 | 5x150           | 144   |
|                            | 6       | 5 | 5,5x175         | 174   |
|                            | 7       | 5 | 5,5x175         | 168   |
|                            |         | 5 | 4               | 5x125   |
| 6                          |         | 4 | 5x150           | 136   |
| 5                          |         | 5 | 5x125           | 126   |
| 6                          |         | 5 | 5,5x150         | 174   |
| 7                          |         | 5 | 5,5x175         | 168   |
|                            | 6       | 5 | 5,5x175         | 174   |
|                            | 7       | 5 | 5,5x175         | 168   |

Таблица 21

Ширина элементов решетки в зависимости от числа гвоздей в узлах верхнего пояса

| Высота верхнего пояса<br>$n \cdot h = 2h$ в см | Диаметр гвоздей<br>$d$ в мм | Ширина решетки в см |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--|-----------------------------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|  |                             | 10                  | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 3-4,0 = 12                                     | 4,0                         | 5                   | 6  | 7  | 7  | 8  | 8  | 9  | 9  | 10 | —  | —  | —  | —  | —  |
| 3-4,0 = 12                                     | 5,0                         | 2                   | 2  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | —  | —  | —  | —  | —  |
| 4-4,0 = 16                                     | 4,0                         | 8                   | 9  | 11 | 11 | 12 | 12 | 14 | 14 | 15 | 17 | 18 | —  | —  | —  |
| 4-4,0 = 16                                     | 5,0                         | 3                   | 3  | 4  | 4  | 5  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 7  | —  | —  | —  |
| 5-4,0 = 20                                     | 5,0                         | 4                   | 4  | 5  | 5  | 6  | 7  | 7  | 8  | 8  | 8  | 9  | 9  | 10 | 11 |
| 3-5,0 = 15                                     | 5,0                         | 4                   | 4  | 5  | 5  | 6  | 7  | 7  | 8  | 8  | 8  | 9  | —  | —  | —  |
| 3-5,0 = 15                                     | 5,5                         | 4                   | 4  | 4  | 4  | 5  | 6  | 6  | 6  | 7  | 7  | 8  | —  | —  | —  |
| 4-5,0 = 20                                     | 5,0                         | 6                   | 6  | 8  | 8  | 9  | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 15 | 17 |
| 4-5,0 = 20                                     | 5,5                         | 6                   | 6  | 8  | 8  | 8  | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 12 | 12 | 14 | 14 |
| 5-5,0 = 25                                     | 5,5                         | 8                   | 8  | 8  | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 16 | 16 | 18 | 18 |
| 5-6,0 = 30                                     | 5,5                         | 8                   | 8  | 8  | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 16 | 16 | 18 | 18 |

- 2) нагели, гвозди или же металлические шпонки;
- 3) площадки смятия древесины под торцом верхнего пояса и под тяжами или хомутами;
- 4) площадь опирания фермы.

Для расчета опорных узлов необходимо знать величину усилий в крайних панелях верхнего и нижнего поясов и опорную реакцию фермы.

Тяжи и хомуты рассчитываются на простое растяжение по усилию  $N_n$ , действующему в опорной панели нижнего пояса.

В узлах группы 1 (стр. 305) средние тяжи (в плоскости прокладок) воспринимают усилие одной доски нижнего пояса, крайние тяжи (в плоскости накладок) — половину усилия поясной доски.

Если на каждую накладку узла передается больше половины усилия, действующего в поясной доске (фиг. 19—20), то нагрузка на тяжи соответственно перераспределяется.

Необходимая рабочая площадь сечения  $F_n$  прямых тяжей (фиг. 33):

$$F_n = \frac{N}{[n_+]}, \quad (47)$$

где  $N$  — усилие, приходящееся на прокладку или накладку;

$[n_+]$  — допускаемое напряжение на растяжение стали, из которой проектируются тяжи;

$F_n$  — сечение (нетто) тяжа.

Для тяжей и хомутов,гибающих накладки и прокладки узла (фиг. 34) и работающих как гибкие нити, соответственно получим:

$$F_n = \frac{N}{2[n_+]}. \quad (47a)$$

Допускаемые напряжения  $[n_+]$  принимаются согласно § 31 <sup>ОСТ</sup> ВКС 7063. Обычно  $[n_+] = 0,8 \times 1400 = 1120$  кг/см<sup>2</sup>.

Диаметры  $d$  тяжей в зависимости от нагрузки на них могут быть определены непосредственно по табл. 22, где кроме того указаны наружные диаметры нарезки, при которых ослабленное нарезкой сечение равнопрочно сечению самого тяжа.

В тех случаях, когда тяжи проектируются без осадки концов, диаметры их определяются по диаметрам нарезки.

Допускаемые усилия на один тяз из нормальной круглой стали 3

$$N = \frac{\pi d^2 \min}{4} [n_+] \cdot 3 \quad \left[ n_+ \right] = 0,8 \cdot 1400 = 1120 \text{ кг/см}^2$$

|                      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| $d_{\text{тляжа}}$   | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24    | 25,4  | 27    | 30    |
| $d_{\text{нарезки}}$ | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 27   | 27   | 30    | 36    | 36    | 36    |
| $N$ в кг             | 1125 | 1610 | 2530 | 3440 | 4500 | 5700 | 7000 | 8500 | 10100 | 11350 | 12850 | 15850 |

Плоскости скалывания в узлах на щечковых врубках (фиг. 29) рассчитываются в предположении, что рабочая длина  $l_0$  скалывания вдоль волокон не более семикратной глубины  $h$  врубки. В данном случае величина  $h$  равна половине толщины  $a$  ветви верхнего пояса, поэтому  $l_0 = 3,5a$ . Усилие  $N_n$  в опорной панели нижнего пояса обычно распределяется поровну между всеми плоскостями, поэтому необходимая площадь  $F_{ск}$  скалывания в одной плоскости находится по формуле:

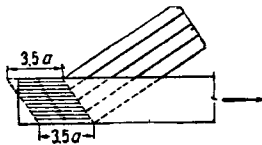
$$F_{ск} = \frac{N_n}{n [t]} \quad (48)$$

и напряжение скалывания:

$$t = \frac{N_n}{n \cdot F_{ск}} \quad (48a)$$

где  $n$  — число плоскостей скалывания.

Площадь  $F_{ск}$  проще всего определять графически по масштабу (фиг. 77). Допускаемое напряжение  $[t]$  на скалывание согласно  $\frac{ОСТ}{ВКС} 7063$  принимается для воздушно-сухой сосны равным  $8 \text{ кг/см}^2$ .



Фиг. 77

Нагели и гвозди, соединяющие прокладки и накладки узлов с нижним поясом, рассчитываются по усилию  $N_n$  так же, как и в стыках нижнего пояса.

Металлические шпонки (фиг. 40—41) также рассчитываются по общим правилам.

Напряжения смятия древесины под торцом верхнего пояса и по опорной площади фермы во многих случаях при применении полусухой и даже воздушно-сухой сосны превышают на 20—30% допускаемые по  $\frac{ОСТ}{ВКС} 7063$  напряжения, однако это не существенно, так как прочность этих элементов узла значительно выше прочности всей фермы.

### 8) Расчет связей между фермами

Связи между фермами нередко назначают без расчета, руководствуясь только конструктивными соображениями, однако лучше их рассчитывать

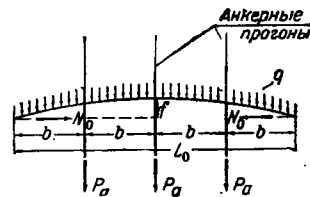
по усилиям, которые могут в них возникать при выпучивании верхнего пояса из плоскости фермы.

Величина этих усилий зависит от характера возможного искривления верхнего пояса, от продольного усилия  $N_0$  в нем и от стрелки  $f$  в середине кривой.

При определении усилий можно условно принять, что искривление верхнего пояса происходит по параболе и что стрелка  $f$  в вершине параболы составляет 0,01 от длины участка  $l_0$  верхнего пояса между крайними связями. Кроме того обычно предполагают, что выпучивание поясов происходит во всех фермах в одном направлении. Поэтому усилия в связях зависят также и от числа соединенных между собою ферм.

В фермах с фонарем длина участка  $l_0$  равна суммарной длине подфонарных панелей, а в фермах с надстройками — половине длины верхнего пояса, так как в середине (в коньке фермы) пояс закреплен расположенной на нем кровлей.

На длине выпучивания  $l_0$  верхний пояс обладает большой гибкостью, поэтому сопротивление пояса изгибу из плоскости фермы при расчете связей не учитывается. Заменяв ввиду условности расчета усилия в анкерных прогонах равномерной нагрузкой  $q$ , уравнивающей момент в верхнем поясе, из условия статического равновесия искривленного участка  $l_0$  пояса (фиг. 78) получим:



Фиг. 78. Схема определения усилий в анкерных прогонах

$$N_0 f = \frac{q l_0^2}{8},$$

откуда:

$$q = \frac{8 N_0 f}{l_0^2} \quad (49)$$

Так как

$$\frac{f}{l_0} = 0,01,$$

то

$$q = 0,08 \frac{N_0}{l_0}.$$



В соответствии с этим усилие в анкерных прогонах:

$$P_a = qb \cdot n_0, \quad (50)$$

где  $b$  — расстояние между анкерными прогонами;  
 $n_0$  — расчетное число соединенных между собой ферм.

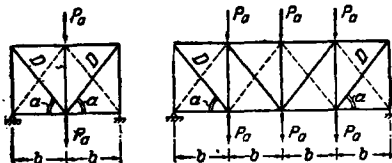
В тех случаях, когда анкерные прогоны закреплены в железобетонных противопожарных фонах или в торцевых стенах здания, число  $n_0$  принимается равным числу ферм на длине между закрепленными концами прогонов. Если же кроме анкерных прогонов фермы соединены между собой (через несколько пролетов) перекрестными стальными тяжами, то число  $n_0$  принимается равным числу ферм на участке между этими тяжами и анкерами прогонов.

Расчет анкерных прогонов производится по аварийному и наиболее невыгодному случаю в предположении, что один из закрепленных концов их полностью выключился из работы (фиг. 79).



Фиг. 79. Схема нагрузки на анкерные прогоны

В соответствии с этим прогоны рассчитываются на сжатие с продольным изгибом силой  $P_a$ , а стыки и закрепление концов прогонов — на растяжение той же силой  $P_a$ .



Фиг. 80. Расчетные схемы ферм жесткости

Свободная длина прогонов при продольном изгибе их относительно любой оси принимается равной пролету прогонов, т. е. расстоянию между фермами. Расчетные напряжения определяются по обычной формуле:

$$n = \frac{P_a}{F \cdot \varphi_{min}}. \quad (51)$$

Перекрестные тяжи в полфонарных панелях рассчитываются как раскосы ферм с параллельными поясами, при этом должно быть учтено, что тяжи могут воспринимать только растягивающие усилия. Расчетные схемы этих ферм в зависимости от числа анкерных прогонов представлены на фиг. 80.

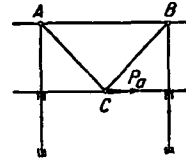
В крайних тяжах усилия  $D$  имеют наибольшую величину и определяются через поперечную силу  $Q$ , равную опорной реакции фермы от сил  $P_a$ :

$$D = \frac{Q}{\sin \alpha}. \quad (52)$$

В обычных случаях диаметр тяжей  $d$  колеблется в пределах от 12 до 19 мм.

Раскосы связей, располагаемых в вертикальных плоскостях по схеме, приведенной на фиг. 81,

рассчитываются как элементы фермы  $ABC$  (пролетом  $AB$ ) с нагрузкой  $P_a$  в узле  $C$ .



Фиг. 81. Схема нагрузки на вертикальные связи

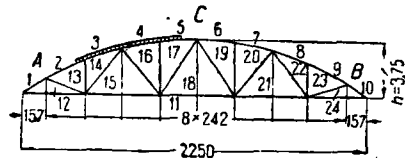
### 5. Примеры проектирования

**Пример 1.** Расчет сегментной фермы без фонаря и надстройки

а) Схема и основные размеры (фиг. 82)

Расчетный пролет  $l = 22,5$  м. Высота фермы по середине пролета между осями поясов:

$$h = \frac{l}{6} = \frac{22,5}{6} = 3,75 \text{ м.}$$



Фиг. 82

Радиус кривизны оси верхнего пояса, очерченного по дуге круга:

$$R^0 = \frac{l^2}{8h} + \frac{h}{2};$$

при  $\frac{h}{l} = \frac{1}{6}$  радиус  $R^0 = 0,8333l = 0,8333 \cdot 22,5 = 18,75$  м. Строительный подъем по середине пролета фермы не учитываемый при расчете:

$$f = \frac{l}{200} = \frac{2250}{200} \approx 11 \text{ см.}$$

Радиус кривизны оси верхнего пояса с учетом строительного подъема:

$$R = \frac{22,5^2}{8(3,75 + 0,11)} + \frac{3,75 + 0,11}{2} = 18,33 \text{ м.}$$

Строительная высота фермы:

$$H = h + f = 3,75 + 0,11 = 3,86 \text{ м.}$$

Число панелей верхнего пояса  $n = 10$ .

Средние восемь панелей верхнего пояса имеют равные проекции на ось нижнего пояса:

$$d = \frac{l}{n - 0,70} = \frac{22,5}{10 - 0,70} = 2,42 \text{ м.}$$

Проекция крайней панели:

$$d_0 = 0,65d = 0,65 \cdot 2,42 = 1,57 \text{ м.}$$

### б) Нагрузки

На 1 м<sup>2</sup> горизонтальной проекции покрытия: постоянная:

$$\begin{aligned} & \text{кровля} — 50 \text{ кг} \\ & \text{собственный вес фермы} — 17 \end{aligned}$$

$$\text{Итого } g_0 = 67 \text{ кг}$$

временная:

$$\text{снег } p_0 = 82 \text{ кг/м}$$

На 1 пог. м горизонтальной проекции верхнего пояса фермы:

при расстоянии между фермами 6,0 м:

$$g = 6,0 \cdot 67 = 402 \text{ кг} \approx 400 \text{ кг};$$

$$p = 6,0 \cdot 82 = 492 \text{ кг} \approx 500 \text{ кг}.$$

Суммарная нагрузка:

$$q = g + p = 400 + 500 = 900 \text{ кг/м}.$$

Узловые нагрузки. На каждый узел верхнего пояса действует нагрузка, расположенная на примыкающих к узлу панелях.

Для всех узлов верхнего пояса кроме А и В (фиг. 82) узловые грузы имеют следующие значения.

От постоянной нагрузки:

нормальный узловой груз:

$$P_g = 2,42 \cdot 400 \approx 970 \text{ кг}.$$

Грузы в узлах А и В по 0,83  $P_g$ .

От снеговой нагрузки:

нормальный узловой груз:

$$P_p = 2,42 \cdot 500 = 1210 \text{ кг};$$

в узлах А и В — также по 0,83  $P_p$ .

От односторонней снеговой нагрузки узловой груз С получается равным 0,5  $P_p$ .

в) Усилия

Усилия в элементах фермы определены по табл. 2, приведенной на стр. 313.

Для определения усилий по таблицам необходимо и достаточно иметь узловые нагрузки  $P_g$  и  $P_p$ .

Порядок расчета и результаты вычислений приведены ниже в таблице усилий.

Таблица усилий

| № стержней   | Усилия от нагрузок в кг            |                    |                                 |                  |         |
|--------------|------------------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------|---------|
|              | Равномерное загрузке всего пролета |                    | Односторонняя снеговая нагрузка | Расчетные усилия |         |
|              | постоянной нагрузкой               | снеговой нагрузкой |                                 |                  |         |
| Верхний пояс | 1—12                               | -7 450             | -9 320                          | -6 780           | -16 770 |
|              | 2—13                               | -7 260             | -9 070                          | -6 170           | -16 330 |
|              | 3—14                               | -6 770             | -8 470                          | -5 810           | -15 240 |
|              | 4—16                               | -6 870             | -8 590                          | -4 960           | -15 460 |
|              | 5—17                               | -6 770             | -8 470                          | -4 540           | -15 240 |
|              | 6—19                               | -6 770             | -8 470                          | -3 390           | -15 240 |
|              | 7—20                               | -6 870             | -8 590                          | -3 510           | -15 460 |
|              | 8—22                               | -6 770             | -8 470                          | -2 540           | -15 240 |
|              | 9—23                               | -7 260             | -9 070                          | -2 780           | -16 330 |
|              | 10—24                              | -7 450             | -9 320                          | -2 540           | -16 770 |
| Нижний пояс  | 11—12                              | +6 200             | +7 740                          | +5 570           | +13 940 |
|              | 11—15                              | +6 580             | +8 230                          | +5 320           | +14 810 |
|              | 11—18                              | +6 770             | +8 470                          | +4 120           | +15 240 |
|              | 11—21                              | +6 580             | +8 230                          | +2 910           | +14 810 |
|              | 11—24                              | +6 200             | +7 740                          | +2 060           | +13 940 |
| Раскосы      | 12—13                              | +290               | +363                            | 0,0              | +653    |
|              | 14—15                              | -290               | -363                            | +363             | -653    |
|              | 15—16                              | +193               | +242                            | -726             | -533    |
|              | 17—18                              | -97                | -121                            | +1 330           | +1 233  |
|              | 18—19                              | -97                | -121                            | -1 450           | -1 547  |
|              | 20—21                              | +193               | +242                            | +847             | +1 040  |
|              | 21—22                              | -290               | -363                            | -726             | -1 016  |
|              | 23—24                              | +290               | +363                            | +484             | +774    |
| Столбы       | 13—14                              | +97                | +121                            | -363             | -266    |
|              | 16—17                              | +97                | +121                            | -484             | -387    |
|              | 19—20                              | +97                | +121                            | +484             | +581    |
|              | 22—23                              | +97                | +121                            | +363             | +460    |

Практически определять усилия во всех стержнях ферм излишне, так как рассчитываются только те стержни, которые находятся в наиболее невыгодных условиях работы. В данном случае вполне достаточно было бы знать усилия 2—13, 11—12, 11—15 и 18—19, остальные усилия приведены лишь для подтверждения этого положения.

г) Материал и допускаемые напряжения

Фермы запроектированы из полусухой сосны марки 1 (ОСТ ВКС 7099), соответствующей III классу сооружений, с влажностью от 18 до 23%.

Тяжи опорных узлов изготавливаются из нормальной стали 3.

Допускаемые напряжения для дерева приняты с коэффициентом 0,9 от основных по ОСТ ВКС 7063:

$$\begin{aligned} \text{на сжатие} & [n_-] = 90 \text{ кг/см}^2 \\ \text{» растяжение} & [n_+] = 90 \text{ »} \\ \text{» изгиб} & [n_u] = 100 \text{ »} \end{aligned}$$

Допускаемое напряжение на растяжение для стали 3 принято согласно § 31 ОСТ ВКС 7063 равным

$$[n_+] = 0,8 \cdot 1400 = 1120 \text{ кг/см}^2.$$

д) Расчет элементов фермы

Верхний пояс. При расчете верхнего пояса приближенно учитывается его неразрезность в узлах. Поперечное сечение пояса, а также мощность гвоздевого забоя в нем определяются по продольному сжимающему усилию и изгибающему моменту, действующим во второй панели.

Расчетное сжимающее усилие  $N_{2-13} = -16 330 \text{ кг}$ .  
Длина панели  $l_0 = 0,1202 \cdot 22,50 = 2,71 \text{ м}$  (табл. 2).

Длина проекции этой панели на ось нижнего пояса:

$$d = 2,42 \text{ м (фиг. 82)}.$$

Стрелка кривой по середине панели (фиг. 83):

$$c = \frac{l_0^2}{8k^0} = \frac{2,71^2}{8 \cdot 1 \cdot 875} = 4,9 \text{ см}.$$

Изгибающий момент по середине панели от кривизны поясов между узлами по ф-ле (3):

$$M_1 = \frac{-Nc}{3} = \frac{-16 330 \cdot 4,9}{3} = -26 700 \text{ кгсм}.$$

Момент от местной панельной нагрузки при сплошном настиле по ф-ле (5):

$$M_c^0 = \frac{qd^2}{24} = \frac{900 \cdot 2,42^2}{24} = 22 000 \text{ кгсм}.$$

Расчетная величина момента по середине панели:

$$M_c = M_1 + M_c^0 = -26 700 + 22 000 = -4 700 \text{ кгсм}.$$

При устройстве кровли по прогонам, расположенным в узлах и в третях панели, получим соответственно:

$$M_c^0 = \frac{qd^2}{27} = \frac{900 \cdot 2,42^2}{27} = 19 500 \text{ кгсм};$$

$$M_c = -26 700 + 19 500 = -7 200 \text{ кгсм}.$$

Расчетная длина пояса при продольном изгибе его в плоскости фермы:

$$l_x = 0,65l_0 = 0,65 \cdot 2,71 = 1,76 \text{ см}.$$

При учете продольного изгиба пояса из плоскости фермы расчетная длина  $l_y$  зависит от типа кровли. При устройстве кровли по прогонам (расположенным, как указано выше) длина  $l_y$  принимается равной расстоянию между прогонами, т. е.:

$$l_y = \frac{271}{3} \approx 90 \text{ см.}$$

В случае применения сплошного настила продольный изгиб пояса из плоскости фермы не учитывается.

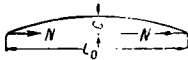
Верхний пояс запроектирован из двух ветвей (фиг. 84) с прокладкой, не учитываемой в расчете. Площадь поперечного сечения пояса:

$$F_{\text{пояса}} = 4 \cdot 5,0 \cdot 7 \cdot 2 = 280 \text{ см}^2.$$

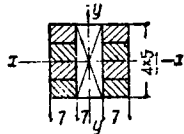
Расчетные моменты инерции:

$$I_x = \frac{2 \cdot 7 \cdot 20^3}{12 \cdot 1,1 \cdot k_{\text{пов}}} = \frac{9 \ 333}{1,1 \cdot 1,05} = 8 \ 090 \text{ см}^4;$$

$$I_y = \frac{14 \ 860}{1,1 \cdot 1,03} = 13 \ 100 \text{ см}^4.$$



Фиг. 83



Фиг. 84. Сечение верхнего пояса

Момент сопротивления:

$$W_x = \frac{8 \ 090}{10} = 809 \text{ см}^3.$$

Радиусы инерции:

$$r_x = \sqrt{\frac{8 \ 090}{280}} = 5,37 \text{ см};$$

$$r_y = \sqrt{\frac{13 \ 100}{280}} = 6,85 \text{ см}.$$

(Все эти геометрические характеристики могут быть получены непосредственно из табл. 10.)

Гибкости:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{176}{5,37} = 33;$$

$$\lambda_y = \frac{90}{6,85} = 13 < \lambda_x.$$

Коэффициент  $\varphi_x = 0,77$ .

Напряжение в поясе:

при кровле из сплошного настила

$$n = \frac{16 \ 330}{280 \cdot 0,77} + \frac{4 \ 700 \cdot 90}{809 \cdot 100} = 75,7 + 5,2 = 81 \text{ кг/см}^2 < 90;$$

при кровле по прогонам:

$$n = 75,7 + \frac{7 \ 020 \cdot 90}{809 \cdot 100} = 84 \text{ кг/см}^2 < 90.$$

Сумма сил сдвига  $T^x$  по первому шву (фиг. 85) на длине панели пояса при продольном изгибе его в плоскости фермы определяется по ф-ле (8). Пользуясь табл. 11 для  $\varphi_x = 0,77$ , получим:

$$T^x = 4 \cdot 0,065 \cdot N_{2-15} = 4 \cdot 0,065 \cdot 16 \ 330 = 4 \ 240 \text{ кг.}$$

Величина сдвигающих сил  $T^y$  при поперечном изгибе пояса зависит от характера внешних нагрузок, действующих в пределах панели.

Сумма сил  $T^y$  по первому шву на длине панели при сплошном настиле:

$$T^y = 2 \frac{3M_x S}{J_x} = 2 \cdot 3 \cdot 4 \ 700 \cdot 0,056 = 1 \ 590 \text{ кг.}$$

(Величина  $\frac{S}{J_x}$  приведена в табл. 10.)

При совместном учете продольного и поперечного изгибов пояса в плоскости фермы сумма сил сдвига по первому шву на длине панели:

$$\sum T = T^x + T^y = 4 \ 240 + 1 \ 590 = 5 \ 830 \text{ кг.}$$

При кровле по прогонам соответственно получим:

$$T_1^y = 2 \cdot 3 \cdot 7 \ 200 \cdot 0,056 = 2 \ 430 \text{ кг};$$

$$\sum T^y = 4 \ 240 + 2 \ 430 = 6 \ 670 \text{ кг.}$$

Эти силы воспринимаются гвоздями  $d = 5,5$ ,  $l = 175$ , соединяющими бруски и ветви пояса по схеме, приведенной на фиг. 85. Число вертикальных гвоздей при сплошном настиле найдется по ф-ле (29) и по табл. 13:

$$m_1 = \frac{1}{c_4} (T^x + T^y) = \frac{5 \ 830}{82,5} = 70 \text{ шт. на всю панель и горизонтальных — по ф-ле (28):}$$

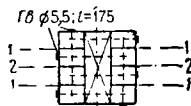
$$m_2 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^y) = \frac{5 \ 830}{222} = 26 \text{ шт. на всю панель.}$$

При  $m_2 = 26$  и длине панели  $l_0 = 271 \text{ см}$  шаг горизонтальных гвоздей получается равным  $35 \text{ см}$ , т. е. более  $40 d_{гв} = 22 \text{ см}$ .

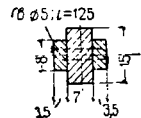
Поэтому шаг этих гвоздей принят равным  $22 \text{ см}$  и число  $m_2 = 44$  шт.

При этом число вертикальных гвоздей найдется по ф-ле (30):

$$m_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^y - c_1 m_2) = \frac{5 \ 830 - 41,8 \cdot 44}{67,0} = 60 \text{ шт.}$$



Фиг. 85. Схема забивки гвоздей



Фиг. 86. Поперечное сечение решетки

Для случая устройства кровли по прогонам соответственно:

$$m_2 = 44 \text{ шт.}$$

и

$$m_1 = \frac{6 \ 670 - 41,8 \cdot 44}{67,0} = 72 \text{ шт.}$$

Совместное действие продольного изгиба из плоскости фермы с поперечным изгибом пояса не является расчетным случаем и поэтому не рассматривается.

Решетка. Поперечное сечение решетки, а также число гвоздей для крепления ее к поясам принимаются для всех элементов одинаковыми. В наиболее невыгодных условиях работают сжатые раскосы 17—18 и 18—19 (см. таблицу усилий и фиг. 82).

Расчетное сжимающее усилие  $N_{18-19} = -1 \ 547 \text{ кг.}$

Свободная длина раскоса при продольном изгибе:

$$l_{18-19} = 0,199 \cdot 22,5 = 4,49 \text{ м (табл. 2).}$$

Необходимое число гвоздей  $d = 5,5$ ,  $l = 175 \text{ мм}$  для прикрепления раскоса к поясу (верхнему или нижнему):

$$m = \frac{N_{18-19}}{T_{18}} = \frac{1547}{167} = 9,3 \approx 9 \text{ шт.}$$

(Допускаемое усилие на один двусрезный гвоздь  $T_{18}$  приведено в табл. 20).

Из условия размещения гвоздей в узле верхнего пояса ширина раскоса должна быть не менее 15 см (табл. 21).

Принятое поперечное сечение решетки представлено на фиг. 86.

Площадь сечения:

$$F_{\text{брутто}} = 161 \text{ см}^2.$$

Моменты инерции:

$$I_x = \frac{7 \cdot 15^3 + 2 \cdot 3,5 \cdot 8^3}{12} = 2268 \text{ см}^4;$$

$$I_y = \frac{8 \cdot 14^3 + 7 \cdot 7^3}{12 \cdot 1,1 \cdot 1,03} = 1790 \text{ см}^4.$$

Радиусы инерции:

$$r_x = \sqrt{\frac{2268}{61}} = 3,76 \text{ см};$$

$$r_y = \sqrt{\frac{1790}{161}} = 3,34 \text{ см} < r_x.$$

(Все эти величины могут быть получены из табл. 17).

Наибольшая гибкость:

$$\lambda_y = \frac{448}{3,34} = 134; \quad \varphi_y = 0,17.$$

Напряжение:

$$n_- = \frac{1547}{161 \cdot 0,17} = 56,5 \text{ кг/см}^2.$$

Сумма сил сдвига на длине раскоса по шву между нашивкой и основной доской определяется по ф-ле (9).

Пользуясь данным табл. 17, получим:

$$T^y = 0,296 \left( \frac{1}{0,17} - 1 \right) \cdot 1547 = 2240 \text{ кг.}$$

Нашивки соединены с основной доской гвоздями:  $d = 5,0$ ;  $l = 125$ . Допускаемое усилие на один срез-гвоздя (по табл. 19):

$$T_{18} = 55 \text{ кг.}$$

Необходимое число гвоздей на погонный метр нашивок (с обеих сторон решетки) для восприятия сил  $T^y$ :

$$m_p = \frac{2240}{4,48 \cdot 55} = 9 \text{ шт.}$$

**Нижний пояс.** Нижний пояс рассчитывается на простое растяжение по ослабленному в стыках сечению.

Стыки назначены во второй и четвертой панелях.

Наибольшее растягивающее усилие  $N_{11-15} = 14810 \text{ кг}$ .

Ширина досок пояса принимается равной ширине досок верхнего пояса, т. е. 7 см.

Необходимая площадь сечения нетто:

$$F_n = \frac{14810}{90} = 164 \text{ см}^2.$$

По табл. 14 принимаем сечение  $2(7 \times 15)$  с площадью  $F_n = 165 \text{ см}^2$  (фиг. 87).

Рабочее напряжение:

$$n_+ = \frac{14810}{165} = 90 \text{ кг/см}^2.$$

Стыки нижнего пояса перекрываются прокладками толщиной 7 см и накладками толщиной 5 см (табл. 15).

Допускаемое усилие на один четырехсрезный нагель  $d = 16 \text{ мм}$  (по табл. 15):

$$T_n = 1612 \text{ кг.}$$

Необходимое число нагелей с каждой стороны стыка:

$$m_n = \frac{14810}{1612} = 9,2 \approx 9 \text{ шт.}$$

Стыки могут быть также сконструированы и на гвоздях  $d = 5,5$ ;  $l = 150 \text{ мм}$ .

Допускаемое усилие на один двусрезный гвоздь (по табл. 16):

$$T_{18} = 159 \text{ кг.}$$

Необходимое число гвоздей с каждой стороны стыка с обеих сторон пояса:

$$m_{18} = \frac{14810}{159} = 93 \text{ шт.};$$

при наличии двух болтов  $d = 16 \text{ мм}$ :

$$m'_{18} = \frac{14810 - 2 \cdot 1612}{159} = 73 \text{ шт.}$$

**Опорные узлы.** Опорные узлы фермы конструируются на тяжах из круглой стали 3 (фиг. 89).

Растягивающее усилие в крайней панели нижнего пояса:

$$N_{11-12} = +13940 \text{ кг.}$$

Усилие, передающееся с нижнего пояса через нагели на прокладку:

$$N_{np} = \frac{13940}{2} = 6970 \text{ кг}$$

и на каждую накладку:

$$N_n = \frac{13940}{4} = 3490 \text{ кг.}$$

По табл. 22 для средних тяжей получим: диаметр тяжа  $d = 20 \text{ мм}$  и наружный диаметр нарезки (по осаженым концам)  $d_n = 27 \text{ мм}$ .

Для крайних тяжей соответственно:

$$d = 16 \text{ и } d_n = 20 \text{ мм.}$$

Число нагелей (или гвоздей) для крепления нижнего пояса к накладкам и прокладкам узла принято таким же, как и в стыках нижнего пояса, т. е.:

$$m_n = 9 \text{ шт.};$$

$$m'_{18} = 73 \text{ шт.}$$

Рабочий чертеж фермы представлен на фиг. 88 и 89.

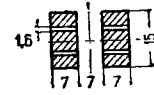
**Пример 2.** Расчет сегментной фермы с надстройкой

а) Схема и основные размеры (фиг. 90)

Расчетный пролет  $l = 28,5 \text{ м}$ .

Высота фермы по середине пролета между осями поясов:

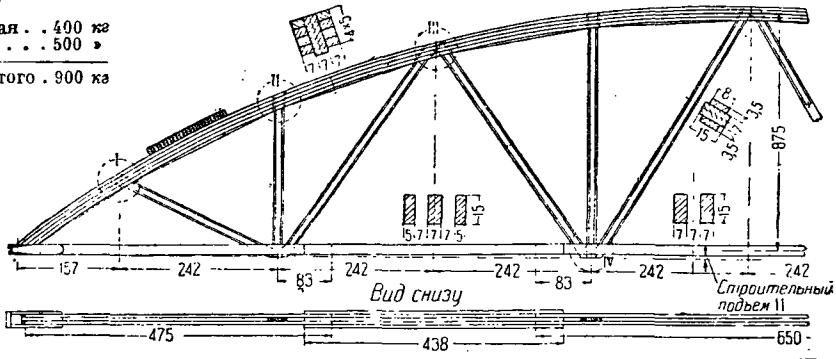
$$h = \frac{l}{6} = \frac{28,5}{6} = 4,75 \text{ м.}$$



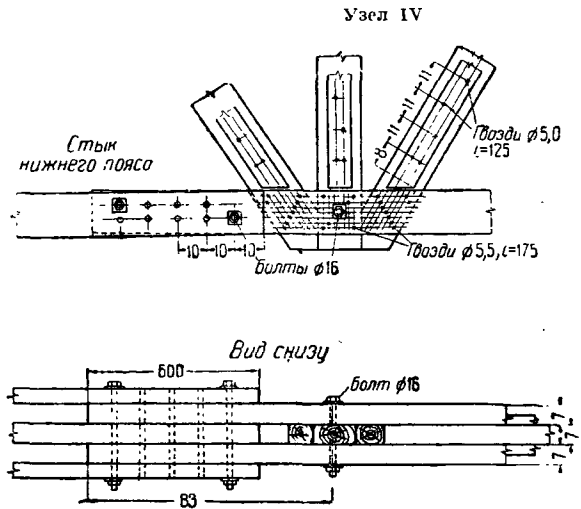
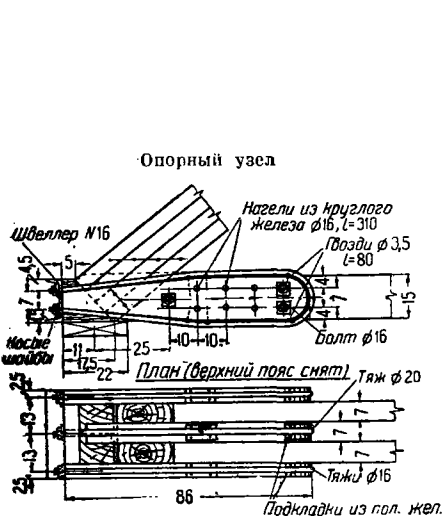
Фиг. 87. Рабочее сечение нижнего пояса

Расчетные нагрузки на 1 пог. м

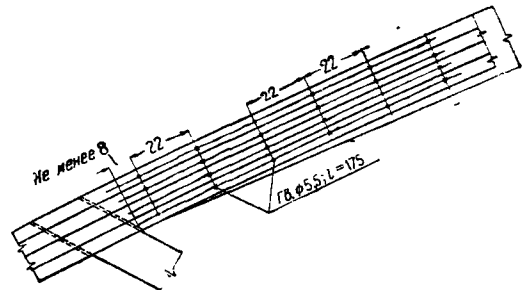
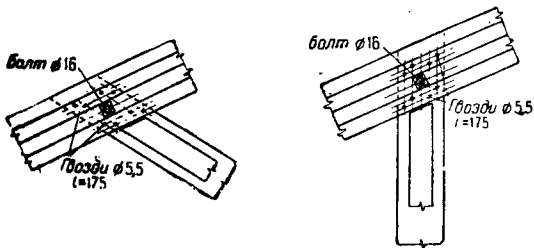
Постоянная . . . 400 кг  
 Снеговая . . . 500 »  
 Итого . 900 кг



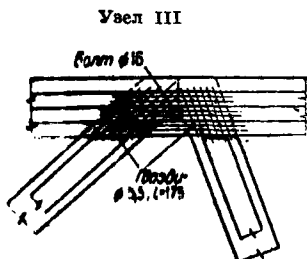
Фиг. 88. Рабочий чертеж фермы под кровлю без фонаря и надстройки



Размещение «горизонтальных» гвоздей в верхнем поясе



Размещение «вертикальных» гвоздей в верхнем поясе



Фиг. 89. Детали фермы

Радиус кривизны оси верхнего пояса, очерченного по дуге круга:

$$R^0 = \frac{l^2}{8h} + \frac{h}{2} = 0,833 l = 0,833 \cdot 28,5 = 23,70 \text{ м.}$$

Строительный подъем по середине пролета фермы, не учитываемый при расчете:

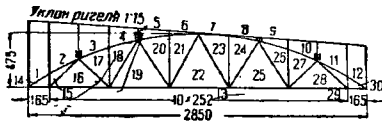
$$f = \frac{l}{200} = \frac{2850}{200} \approx 14 \text{ см.}$$

Радиус кривизны оси верхнего пояса с учетом строительного подъема:

$$R = \frac{28,5^2}{8(4,75 + 0,14)} + \frac{4,75 + 0,14}{2} = 23,20 \text{ м.}$$

Строительная высота фермы:

$$H = h + f = 4,75 + 0,14 = 4,89 \text{ м.}$$



Фиг. 90

Число панелей верхнего пояса  $n = 12$ .

Средние десять панелей верхнего пояса имеют равные между собой проекции на ось нижнего пояса:

$$d = \frac{28,50}{12 - 0,70} = 2,52 \text{ м.}$$

Проекция крайней панели  $d_0 = 0,65d = 0,65 \times 2,52 = 1,65 \text{ м.}$

б) Нагрузки на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной проекции покрытия

Постоянная кровля: — 65 кг<sup>2</sup>  
 собственный вес фермы с надстройкой — 20 »

Итого  $g_0 = 85 \text{ кг}$

Временная: снег  $p_0 = 50 \text{ кг}$ .

На  $1 \text{ поз. м}$  горизонтальной проекции верхнего пояса:

при расстоянии между фермами 6,0 м:

$$g = 6,0 \cdot g_0 = 6,0 \cdot 85 = 510 \approx 500 \text{ кг;}$$

$$p = 6,0 \cdot p_0 = 6,0 \cdot 50 = 300 \text{ кг.}$$

Суммарная нагрузка:

$$q = g + p = 500 + 300 = 800 \text{ кг/м.}$$

Узловые нагрузки. На один узел верхнего пояса действует нагрузка, расположенная на примыкающих к узлу панелях ригеля надстройкой.

При постоянной нагрузке все узлы верхнего пояса за исключением А и В (фиг. 90) получают нагрузку:

$$P_g = g \cdot d = 500 \cdot 2,52 = 1260 \text{ кг.}$$

При снеговой нагрузке соответственно:

$$P_p = p \cdot d = 300 \cdot 2,52 = 755 \text{ кг.}$$

в) У с и л и я

Усилия определены по табл. 3 только для расчетных элементов фермы.

Порядок расчета и результаты вычислений приведены ниже в таблице усилий.

Таблица усилий

| № стержней | Усилия от нагрузок в кг              |                    |                                 | Расчетные усилия |
|------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------|
|            | Равномерное нагружение всего пролета |                    | Односторонняя снеговая нагрузка |                  |
|            | постоянной нагрузкой                 | снеговой нагрузкой |                                 |                  |
| 2—15       | -10 950                              | -6 550             | -4 900                          | -17 500          |
| 13—14      | + 9 700                              | + 5 800            | + 4 380                         | +15 500          |
| 13—22      | +10 600                              | +6 350             | +3 170                          | +16 950          |
| 22—23      | 0                                    | 0                  | -1 055                          | - 1055           |

г) Материал и допускаемые напряжения

Характеристики материалов и допускаемые напряжения приведены в п. «г» примера 1 (см. выше).

д) Расчет элементов фермы

Верхний пояс. При расчете верхнего пояса приближенно учитывается его неразрезность в узлах.

Поперечное сечение и мощность гвоздевого забоя пояса подбираются по продольному сжимающему усилию и изгибающему моменту во второй панели как более напряженной.

Расчетное сжимающее усилие:

$$N_{2-13} = -17 500 \text{ кг.}$$

Длина панели:

$$l_0 = 0,1003 \cdot 28,5 = 2,86 \text{ м (табл. 3).}$$

Стрелка кривой по середине панели:

$$c = \frac{l_0^3}{8R^0} = \frac{2,86^3}{8 \cdot 2370} = 4,3 \text{ см.}$$

Изгибающий момент в узле [см. ф-лу (3)]:

$$M_k = \frac{2Nc}{3} = \frac{2 \cdot 17 500 \cdot 4,3}{3} = 50 100 \text{ кгсм.}$$

Свободная длина  $l_y$  при продольном изгибе пояса из плоскости фермы принимается равной длине первых двух панелей, так как связи по верхнему поясу между фермами ставятся через узел:

$$l_y = (0,0695 + 0,1003) \cdot 28,5 = 4,85 \text{ м (табл. 3).}$$

Свободная длина  $l_x$  при изгибе в плоскости фермы определяется с учетом неразрезности пояса в узлах:

$$l_x = 0,65 \cdot l_0 = 0,65 \cdot 2,86 = 1,86 \text{ м.}$$

Верхний пояс запроектирован из трех равных по ширине ветвей (фиг. 91) с прокладками, не учитываемыми в расчете.

По табл. 10 находим:

площадь поперечного сечения пояса:

$$F_{\text{брутто}} = 450 \text{ см}^2.$$

Расчетный момент сопротивления:

$$W_x = 1 575 \text{ см}^3$$



Решетка запроектирована из досок  $2(6 \times 12)$  (фиг. 93).

Площадь сечения:

$$F_{\text{брутто}} = 144 \text{ см}^2.$$

Радиусы инерции (по табл. 18):

$$r_x = 3,46 \text{ см}$$

и

$$r_y = 5,87 \text{ см}.$$

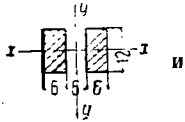
Доски раскоса соединены между собой шестью прокладками через 90 см по длине.

Гибкости:

$$\lambda_x = \frac{538}{3,46} = 156,$$

$$\lambda_y = \frac{538}{5,87} = 91$$

$$\frac{l_1}{a} = \frac{90}{6} = 15.$$



Фиг. 93.  
Сечение решетки

Коэффициенты:

$$\varphi_x = 0,12,$$

$$\varphi_y = 0,36$$

и

$$\varphi_y \cdot \varphi_x = 0,23.$$

Напряжение:

$$n_- = \frac{1\ 055}{144 \cdot 0,12} = 61 \text{ кг/см}^2.$$

Сумма сил сдвига по ниву между доской раскоса и прокладкой определяется по ф-ле (7).

Пользуясь данными табл. 12, для

$$\varphi_y = 0,36$$

получим:

$$T_0^{l/2} = 0,67 \cdot 1\ 055 = 1\ 415 \text{ кг}.$$

Доски решетки соединены с прокладками гвоздями  $d = 5,0$ ,  $l = 150$  мм. Допускаемое усилие на один срез гвоздя (по табл. 19):

$$T_g = 68 \text{ кг}.$$

Необходимое число гвоздей на одну прокладку:

$$m_p = \frac{1\ 415}{3 \cdot 68} = 3,5 \approx 4 \text{ шт.}$$

(по 2 гвоздя с каждой стороны).

Нижний пояс рассчитывается на простое растяжение по ослабленному в стыках сечению.

Стыки пояса назначены во второй, четвертой и шестой панелях.

Наибольшее растягивающее усилие:

$$N_{13-12} = +16\ 950 \text{ кг}.$$

Принято сечение  $3(6 \times 15)$  (фиг. 94).

Рабочая площадь пояса с учетом ослабления его нагелями  $d = 12$  мм, расположенными в два ряда по высоте (табл. 14):

$$F_n = 241 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$n_+ = \frac{16\ 950}{241} = 70,5 \text{ кг/см}^2.$$

Стыки нижнего пояса перекрываются прокладками толщиной 6 см и накладками толщиной 4 см.

Допускаемое усилие на один шестисрезный нагель  $d = 12$  мм (по табл. 15):

$$T_n = 1\ 374 \text{ кг}$$

Число нагелей с каждой стороны стыка:

$$m = \frac{16\ 950}{1\ 374} = 12 \text{ шт.}$$

Опорные узлы конструируются на тяжах из круглой стали 3 (фиг. 96). Растягивающее усилие в крайней панели нижнего пояса:

$$N_{13-14} = +15\ 500 \text{ кг}.$$

Усилие, передающееся на прокладку:

$$N_{np} = \frac{15\ 500}{3} = 5\ 160 \text{ кг}$$

и на накладку:

$$N_n = \frac{15\ 500}{6} = 2\ 580 \text{ кг}.$$

По табл. 22 находим:

для средних тяжей  $d = 18$  мм; наружные диаметры нарезки (по осадненным концам):

$$d_n = 22 \text{ мм}.$$

Для крайних тяжей соответственно:

$$d = 12 \text{ мм}; d_n = 16 \text{ мм}.$$

Связи между фермами. Связи в верхнем поясе запроектированы в виде анкерных прогонов, закрепленных в железобетонных противопожарных зонах. Расположение связей указано на фиг. 90.

Усилие в прогонах  $P_a$  определяется по ф-лам (49) — (50):

$$P_a = 0,08 \frac{N_0}{l_0} \cdot b \cdot n_0.$$

В данном случае

$$b \approx \frac{l_0}{3},$$

$$n_0 = 10$$

и

$$N_0 = 17\ 500 \text{ кг}.$$

Следовательно:

$$P_a = 0,08 \frac{17\ 500}{l_0} \cdot \frac{l_0}{3} \cdot 10 = 4\ 660 \text{ кг}.$$

Принято сечение  $2(5 \times 20)$  (фиг. 97).

Свободная длина прогонов при продольном изгибе равна расстоянию между фермами, т. е.  $l_{np} = 6,0$  м.

Прокладки между досками прогона поставлены через 1,0 м по длине. Радиусы инерции:

$$r_x = 5,77 \text{ см} \text{ и } r_y = 9,5 \text{ см}.$$

Гибкости:

$$\lambda_x = \frac{600}{5,77} = 104,$$

$$\lambda_y = \frac{600}{9,5} \approx 63$$

и

$$\frac{l_1}{b} = \frac{100}{5} = 20.$$

Коэффициенты:

$$\varphi_x = 0,28,$$

$$\varphi_y = 0,56$$

и

$$\varphi_y \cdot \varphi_x = 0,28.$$

Напряжение:

$$n_- = \frac{4\ 660}{2 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 0,28} = 83,5 < 90 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 94. Рабочее сечение нижнего пояса



Сумма сил сдвига при продольном изгибе прогона из плоскости  $y - y$ :

$$T_y^{l_0} = 2 \cdot 0,356 \cdot 4\,660 = 3\,320 \text{ кг.}$$

Сдвигающие силы воспринимаются гвоздями  $d = 5,0$ ,  $l = 125$  мм. Допускаемое усилие на один срез гвоздя  $T_{сз} = 72$  кг.

Необходимое число гвоздей на одну прокладку:

$$m = \frac{3\,320}{6,72} = 7,7 \approx 8 \text{ шт.}$$

с каждой стороны прогона.

Стыки прогонов перекрываются накладками толщиной 7 см. Усилие на накладку передается гвоздями  $d = 5,0$ ,  $l = 150$  мм.

Необходимое число гвоздей на одну накладку:

$$m = \frac{4\,660}{72} = 65 \text{ шт.}$$

Закрепление концов прогонов в зонах осуществляется при помощи стального троса  $d = 28$  мм (фиг. 97).

Рабочая площадь сечения троса по нарезке:

$$F_n = 4,5 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$\sigma_{\pm} = \frac{4\,660}{4,5} = 1\,035 \text{ кг/см}^2.$$

Концы прогонов соединены с прокладкой (через которую пропущен трос) гвоздями  $d = 5,0$ ,  $l = 125$  мм.

Число гвоздей, так же как и в стыках прогонов, принято равным  $m = 66$  шт. (по 33 гвоздя с каждой стороны прогона).

Рабочие чертежи фермы и анкерных прогонов представлены на фиг. 95—97.

**Пример 3. Расчет сегментной фермы с фонарем**

а) Схема и основные размеры (фиг. 98)

Расчетный пролет фермы  $l = 24,5$  м.

Высота фермы по середине пролета между осями поясов:

$$h = \frac{l}{6} = \frac{24,5}{6} = 4,083 \text{ м.}$$

Радиус кривизны оси верхнего пояса, очерченного по дуге круга:

$$R^0 = \frac{l^2}{2} + \frac{h}{2} = 0,833l = 0,833 \cdot 24,5 = 20,40 \text{ м.}$$

Строительный подъем по середине пролета фермы, не учитываемый в расчете:

$$f = \frac{l}{200} = \frac{24\,500}{200} \approx 12 \text{ см.}$$

Радиус кривизны оси верхнего пояса с учетом строительного подъема:

$$R = \frac{24,50^2}{8(4,083 + 0,12)} + \frac{4,083 + 0,12}{2} = 19,98 \text{ м.}$$

Строительная высота фермы:

$$H = h + f = 4,083 + 0,12 \approx 4,20 \text{ м.}$$

Число панелей верхнего пояса  $n = 12$ .

Средние 10 панелей верхнего пояса имеют равные между собой проекции на ось нижнего пояса:

$$d = \frac{l}{n - 0,70} = \frac{24,50}{12 - 0,70} = 2,168 \text{ м.}$$

Длина проекции крайней панели:

$$d_0 = 0,65d = 0,65 \cdot 2,168 = 1,41 \text{ м.}$$

б) Нагрузки

На 1 м<sup>2</sup> горизонтальной проекции покрытия:

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Постоянная: кровля              | — 50 кг |
| собственный вес фермы с фонарем | — 17 "  |
| <hr/>                           |         |
| Итого: $g_0$                    | = 67 кг |

Временная: снег  $p_0 = 82$  кг.

На 1 пог. м горизонтальной проекции верхнего пояса:

при расстоянии между фермами 6,0 м:

$$g = 6,0 \cdot g_0 = 6,0 \cdot 67 = 402 \approx 400 \text{ кг;}$$

$$p = 6,0 \cdot p_0 = 6,0 \cdot 82 = 492 \approx 500 \text{ кг}$$

Суммарная нагрузка:

$$q = g + p = 400 + 500 = 900 \text{ кг/м.}$$

Узловые нагрузки

При равномерной нагрузке по всему пролету (фиг. 99):

$$A = J = \left[ \frac{1,410}{2} + \frac{2,168}{2} \right] \cdot g = 1,789g;$$

$$B = H = \left[ \frac{2,168}{2} = \frac{2,168 \cdot 2}{2} \right] \cdot g = 3,25g;$$

$$C = G = \left[ \frac{2,168 \cdot 2}{2} + \frac{2,168 \cdot 2}{2} \right] \cdot g = 3,25g;$$

$$D = E = F = 2,168g.$$

При неравномерном загрузении фермы снегом (фиг. 100) (см. также фиг. 55):

$$\text{коэффициент } \alpha = \frac{24,5}{2 \cdot 6,638} = 1,85;$$

$$A = 1,789p;$$

$$B = \left[ \frac{2,168}{2} + 3,060 \frac{1,276 + \frac{3,060}{2}}{3,060 + 1,276} + \right.$$

$$\left. + 0,5 \cdot 1,276 \frac{1,276}{2(3,060 + 1,276)} \right] \cdot p = 3,16p;$$

$$C = \left[ 3,060 \frac{3,060}{2(3,060 + 1,276)} + \right.$$

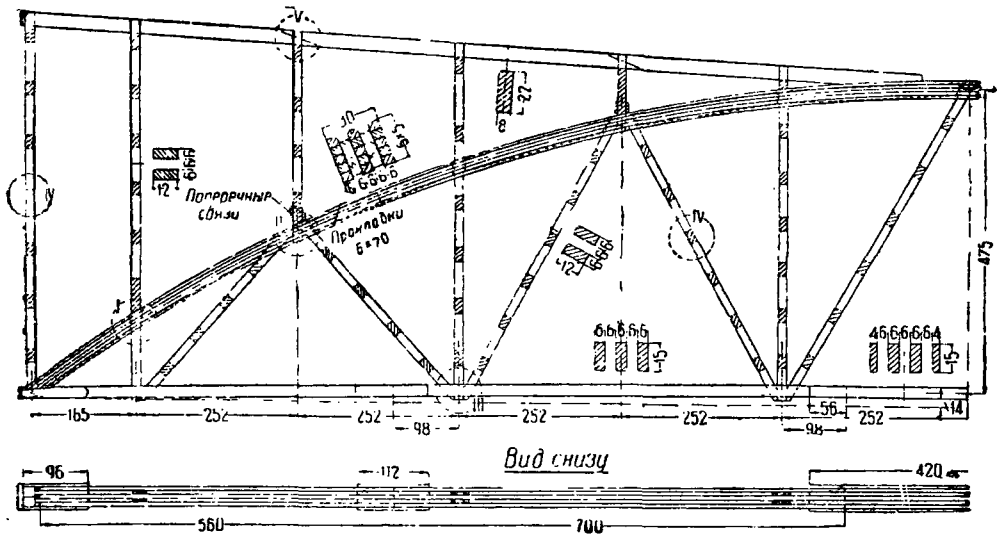
$$\left. + 0,5 \cdot 1,276 \cdot \frac{3,060 + \frac{1,276}{2}}{3,060 + 1,276} + \frac{0,5 \cdot 2,168}{2} \right] \cdot p = 2,49p;$$

$$D = E = F = 0,5 \cdot 2,168p = 1,083p;$$

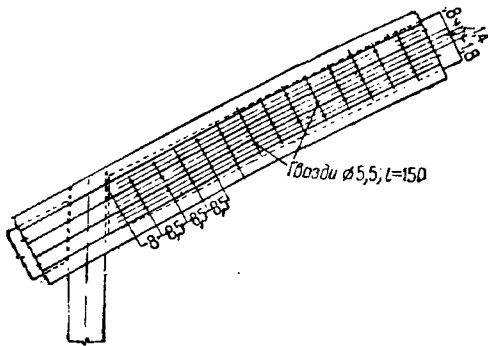
$G = 3,08p$  } определяются так же, как  $B$  и  $C$ ;  
 $H = 5,78p$  }

$$J = 1,85A = 3,31p.$$

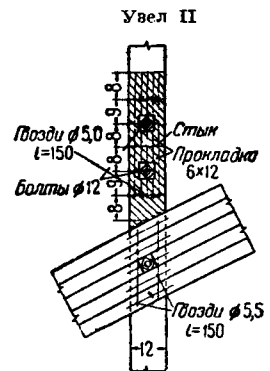
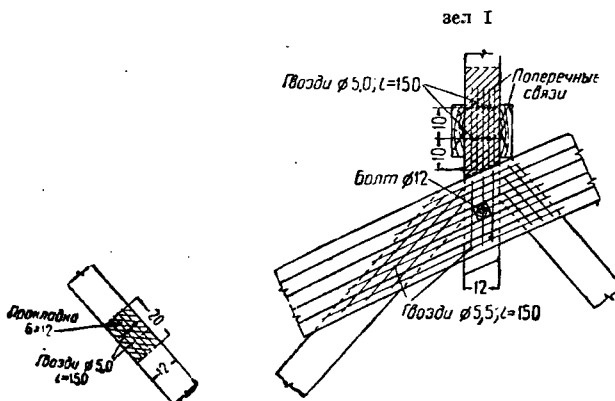
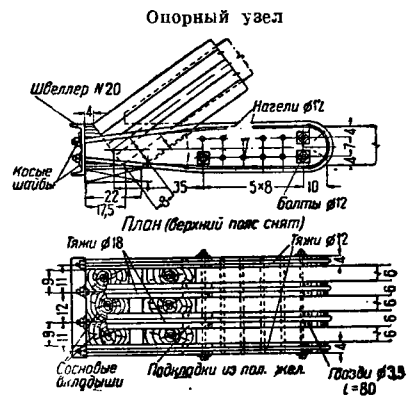
Узловые нагрузки приходится определять в тех случаях, когда не имеется готовых таблиц усилий.



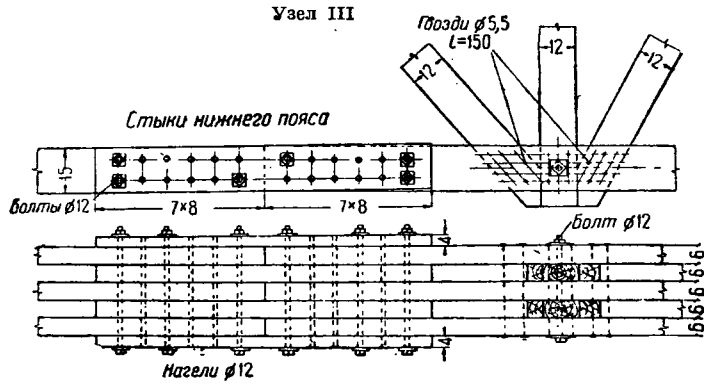
Размещение «горизонтальных» гвоздей в верхнем поясе



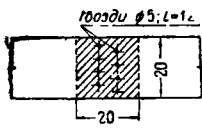
Размещение «вертикальных» гвоздей в верхнем поясе



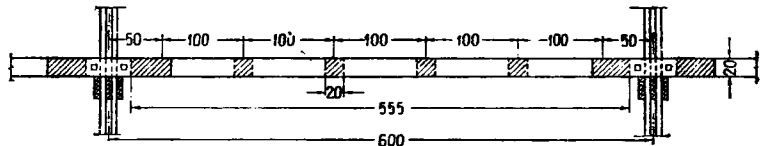
Фиг. 95. Рабочий чертеж фермы с надстройкой



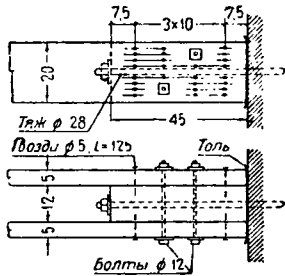
Фиг. 96. Детали фермы (к Фиг. 95)



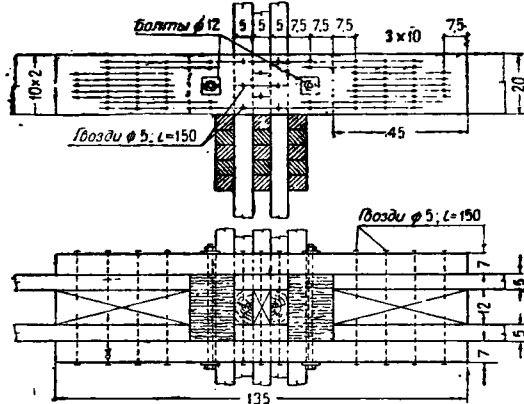
в) Прокладка



а) Анкерный прогон

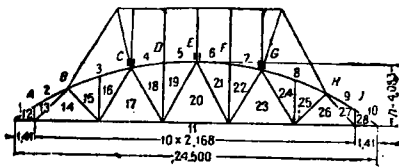


г) Закрепление конца анкерного прогона

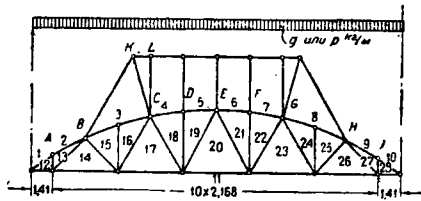


б) Стыки прогонов и сопряжение с фермой

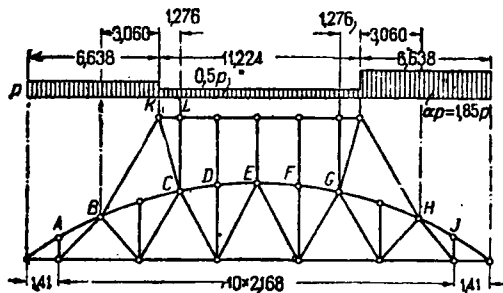
Фиг. 97. Рабочий чертеж анкерных прогонов (к Фиг. 95)



Фиг. 98



Фиг. 99. Схема равномерной нагрузки



Фиг. 100. Схема неравномерной снеговой нагрузки

При пользовании же таблицами достаточно иметь величину нагрузки, действующей на горизонтальной проекции средней панели верхнего пояса, т. е. постоянной узловой нагрузки:

$$P_q = 400 \cdot 2,168 = 867 \text{ кг}$$

и снеговой:

$$P_p = 500 \cdot 2,168 = 1085 \text{ кг.}$$

### в) У с и л и я

Усилия в элементах фермы определены по табл. 8. Порядок расчета и результаты вычислений приведены ниже в таблице усилий.

Таблица усилий

| № стержней | Усилия от нагрузок в кг |          |                                 | Расчетные |
|------------|-------------------------|----------|---------------------------------|-----------|
|            | Равномерная нагрузка    |          | Неравномерная снеговая нагрузка |           |
|            | постоянная              | снеговая |                                 |           |
| 3-5        | -7 430                  | -9 270   | -7 200                          | -16 700   |
| 11-12      | +6 750                  | +8 450   | +6 950                          | +15 200   |
| 11-17      | +7 350                  | +9 200   | +7 000                          | +16 550   |
| 11-20      | +7 430                  | +9 300   | +7 150                          | +16 730   |
| 14-15      | -180                    | -225     | -490                            | -405      |
| 16-17      | -870                    | -1080    | -540                            | -1950     |

### г) М а т е р и а л и д о п у с к а е м ы е н а п р я ж е н и я

Характеристики материалов и допускаемые напряжения приведены в п. „г“ примера 1

### д) Р а с ч е т э л е м е н т о в ф е р м ы

Верхний пояс. При расчете верхнего пояса приближенно учитывается его неразрезность в узлах.

Поперечное сечение пояса и мощность гвоздевого забоя подбираются по нормальному усилию в крайней подфрантовой панели 3 — 15 как наиболее напряженной.

Расчетное сжимающее усилие:

$$N_{3-15} = -16700 \text{ кг.}$$

Длина панели  $l_0 = 233 \text{ см}$  (табл. 8)

Стрелка кривой по середине панели:

$$c = \frac{l_0^2}{8R^0} = \frac{233^2}{8 \cdot 2040} = 3,3 \text{ см.}$$

Изгибающий момент в узле [по ф-ле (3)]:

$$M_k = \frac{2Nc}{3} = \frac{2 \cdot 16700 \cdot 3,3}{3} = 36700 \text{ кгсм.}$$

Свободная длина  $l_x$  при продольном изгибе пояса из плоскости фермы принимается равной суммарной длине третьей и четвертой панели, так как связи между фермами располагаются в узлах С, К и G:

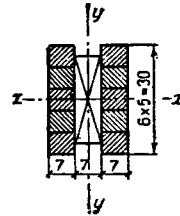
$$l_x = 233 + 225 = 458 \text{ см (табл. 8).}$$

Свободная длина  $l_x$  при изгибе в плоскости фермы определяется с учетом неразрезности пояса в узлах:

$$l_x = 0,65 \cdot 233 = 152 \text{ см.}$$

Верхний пояс запроектирован из двух ветвей (фиг. 101) с прокладкой, не учитываемой в расчете.

Геометрические характеристики поперечного сечения определяются по табл. 10.



Фиг. 101. Поперечное сечение верхнего пояса

Площадь поперечного сечения:

$$F_{\text{брутто}} = 420 \text{ см}^2.$$

Расчетный момент сопротивления:

$$W_x = 1765 \text{ см}^3.$$

Радиусы инерции:

$$r_x = 7,93 \text{ см и } r_y = 6,85 \text{ см;}$$

гибкости:

$$\lambda_x = \frac{152}{7,93} = 19 \text{ и } \lambda_y = \frac{458}{6,85} = 68.$$

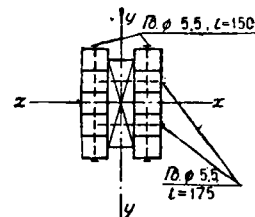
Коэффициенты  $\varphi_x = 0,87$  и  $\varphi_y = 0,53$ .

Напряжение:

$$\sigma = \frac{16700}{420 \cdot 0,53} + \frac{3670 \cdot 900}{1765 \cdot 100} = 75,0 + 18,9 \approx 94 \text{ кг/см}^2$$

(перенапряжение 4,3% < 5).

Сумма сил сдвига по первому шву (фиг. 102)



Фиг. 102. Схема заделки гвоздей

на длине расчетной панели от поперечного изгиба пояса по ф-ле (14):

$$T = 2 \cdot N \cdot c \cdot \frac{S_1}{l_x} = 2 \cdot 16700 \cdot 3,3 \cdot 0,032 = 3530 \text{ кг}$$

(величина  $\frac{S_1}{l_x}$  получена из табл. 10).

Силы сдвига при продольном изгибе пояса определяются по ф-ле (7).

Пользуясь данными табл. 12 для  $\varphi_{\nu} = 0,53$ , получим:

$$T^y = 0,33 \cdot 16\,700 = 550 \text{ кг}$$

и для  $\varphi_x = 0,87$  по табл. 11:

$$T^x = 0,028 \cdot 4 \cdot 16\,700 = 1\,870 \text{ кг.}$$

Сдвигающие силы воспринимаются вертикальными гвоздями  $d = 5,5$ ,  $l = 150$  мм и горизонтальными гвоздями  $d = 5,5$ ,  $l = 175$  мм.

Число гвоздей определяется при комбинации сил:

$$T^y + T^{\sim} \text{ и } T^x + T^{\sim}.$$

1) Силы  $T^y + T^{\sim}$

Число вертикальных гвоздей находится по ф-ле (33) (см. также табл. 13):

$$m_1 = \frac{1}{c_2} (T^{\sim} + 0,4T^y) = \frac{3\,530 + 0,4 \cdot 550}{43,4} = 132 \text{ шт.}$$

и горизонтальных по ф-ле (34):

$$m_2 = \left( \frac{T^{\sim}}{c_3} - \frac{T^y}{c_3} \right) + \frac{T^y}{c_y} = \left( \frac{3\,530}{80,0} + \frac{5\,500}{172,5} \right) + \frac{5\,500}{83,5} = 12 + 66 = 78 \text{ шт.}$$

2) Силы  $T^x + T^{\sim}$

По ф-ле (31а):

$$m'_1 = \frac{1}{c_2} (T^x + T^{\sim}) = \frac{1\,870 + 3\,530}{43,4} = 124 < 132$$

и по ф-ле (32):

$$m'_2 = \frac{1}{c_3} (T^x + T^{\sim}) = \frac{1\,870 + 3\,530}{80,0} = 67 < 78.$$

Принято:  $m_1 = 132$  шт. (по 66 гвоздей сверху и снизу пояса) и  $m_2 = 78$  шт. (по 39 гвоздей с каждой стороны пояса).

Одновременное действие сил  $T^x + T^{\sim}$  при расчете гвоздей верхнего пояса ферм с фонарем может не рассматриваться, потому что силы  $T^{\sim} + T^y$  всегда дают большую нагрузку на гвозди.

Приведенный расчет имеет целью подтвердить это положение на примере.

**Решетка.** Поперечное сечение решетки и число гвоздей для крепления ее к поясам принимаются для всех элементов одинаковыми.

В наиболее невыгодных условиях работают сжатые раскосы 16 — 17 и 23 — 24.

Расчетное сжимающее усилие  $N_{16-17} = -1\,950$  кг. Свободная длина раскоса при продольном изгибе:

$$l_p = 420 \text{ м (табл. 8).}$$

Решетка крепится к поясам гвоздями  $d = 5,5$ ,  $l = 175$  мм. Допускаемое усилие на один дугрезовый гвоздь (по табл. 20):

$$T_{20} = 167 \text{ кг.}$$

Необходимое число гвоздей на один конец раскоса:

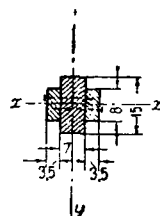
$$m_p = \frac{1\,950}{167} = 12 \text{ шт.}$$

(по 6 с каждой стороны пояса).

Из условия размещения гвоздей в узлах верхнего пояса (по табл. 21) ширина раскосов должна быть не менее 15 см.

Принято сечение с нашивками  $3,5 \times 8$  см (фиг. 103).

По табл. 17 находим:



Фиг. 103. Поперечное сечение решетки

площадь сечения:

$$F_{\text{брутто}} = 161 \text{ см}^2$$

радиусы инерции:

$$r_x = 3,76 \text{ см}$$

и

$$r_y = 3,33 \text{ см;}$$

гибкости:

$$\lambda_x = \frac{420}{3,76} = 112$$

и

$$\lambda_y = \frac{420}{3,33} = 126 > \lambda_x;$$

коэффициент  $\varphi_y = 0,19$ .

$$\text{Напряжение } n_{\sim} = \frac{1\,950}{161 \cdot 0,19} = 64 < 90 \text{ кг/см}^2.$$

Сумма сил сдвига по шву между нашивкой и основной доской определяется по ф-ле (9).

Пользуясь данными табл. (17), получим:

$$T_y = 0,296 \left( \frac{1}{0,19} - 1 \right) \cdot 1\,950 = 2\,460 \text{ кг.}$$

Нашивки соединены с основной доской гвоздями  $d = 5,0$ ,  $l = 125$  мм. Допускаемое усилие на один срез гвоздя (по табл. 19):

$$T_{19} = 55 \text{ кг.}$$

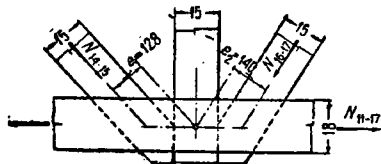
Необходимое число этих гвоздей на 1 пог. м нашивок для восприятия сил  $T^y$ :

$$m_p = \frac{2\,460}{55 \cdot 4,20} = 11 \text{ шт.}$$

(по 5,5 с каждой стороны пояса).

Нижний пояс. В наиболее невыгодных условиях работают сечения у стыков (т. е. в месте

наибольшего ослабления пояса) и в узлах, где пояс кроме растягивающих усилий воспринимает изгибающие моменты от эксцентричного прикрепления раскосов.



Фиг. 104. Узел нижнего пояса

Наибольшее значение момента получается в узле, к которому примыкают раскосы 14—15 и 16—17 при равномерном нагружении фермы.

Усилие в нижнем поясе при равномерной нагрузке:

$$N_{11-17} = +16\,550 \text{ кг.}$$

В раскосах соответственно:

$$N_{14-15} = -180 - 225 = -405 \text{ кг;}$$

$$N_{16-17} = +1\,950 \text{ кг.}$$

При определении величины изгибающего момента рассматривается схема одноконсольной балки (панель 11—17) в предположении, что стык в панели 11—14 не передает ни момента, ни поперечной силы.

Момент под силой  $N_{16-17}$  по ф-ле (42) (фиг. 104):

$$M = -N_{14-15} \cdot e_1 + N_{16-17} \cdot e_2 = -405 \cdot 12,8 + 1\,950 \cdot 14,0 = 22\,000 \text{ кгсм.}$$

Принято сечение 2 ( $7 \times 21 \text{ см}$ ).

По табл. 14:

площадь нетто:

$$F_n = 0,85F_{\text{брутто}} = 250 \text{ см}^2;$$

момент сопротивления:

$$W_n = 925 \text{ см}^3.$$

Напряжение:

$$\sigma_+ = \frac{16\,550}{250} + \frac{22\,000}{925} = 66,1 + 23,8 = 90 \text{ кг/см}^2.$$

Наибольшее растягивающее усилие в панели нижнего пояса со стыком  $N_{11-20} = +16\,730 \text{ кг}$ .

Площадь ослабленного сечения:

$$F_n = 227 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$\sigma_+ = \frac{16\,730}{227} = 73,5 \text{ кг/см}^2.$$

Стыки нижнего пояса перекрываются прокладками толщиной 7 см и накладками толщиной 5 см.

Допускаемое усилие на один четырехрезный нагель  $d = 16 \text{ мм}$  (по табл. 15):

$$T_n = 1\,612 \text{ кг.}$$

Необходимое число нагелей с каждой стороны стыка:

$$m_n = \frac{16\,730}{1\,612} = 10 \text{ шт.}$$

Опорные узлы

1. На тяжах из круглой стали 3 (фиг. 106).

Растягивающее усилие в крайней панели нижнего пояса:

$$N_{11-12} = +15\,200 \text{ кг.}$$

Усилие, передающееся с нижнего пояса на прокладку:

$$N_{np} = \frac{15\,200}{2} = 7\,600 \text{ кг}$$

и на каждую накладку:

$$N_n = \frac{15\,200}{4} = 3\,800 \text{ кг}$$

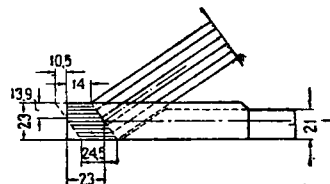
По табл. 22 находим: диаметр среднего троса  $d = 22 \text{ мм}$ , а наружный диаметр нарезки (по осаженным концам)  $d_n = 27 \text{ мм}$ .

Для крайних тяжей соответственно:

$$d = 16 \text{ мм}, d_n = 20 \text{ мм.}$$

2. На щевых врубках (фиг. 107).

При высоте накладок и прокладок  $h_n = 23 \text{ см}$  суммарная площадь скалывания по четырем плоскостям (фиг. 105):



Фиг. 105

$$F_{ск} = \left( 24,5 \cdot 23 - \frac{10,5 \cdot 13,9}{2} \right) 4 = 4\,960 \text{ см}^2.$$

Напряжение скалывания щек накладок и прокладок из воздушно-сухой отборной сосны:

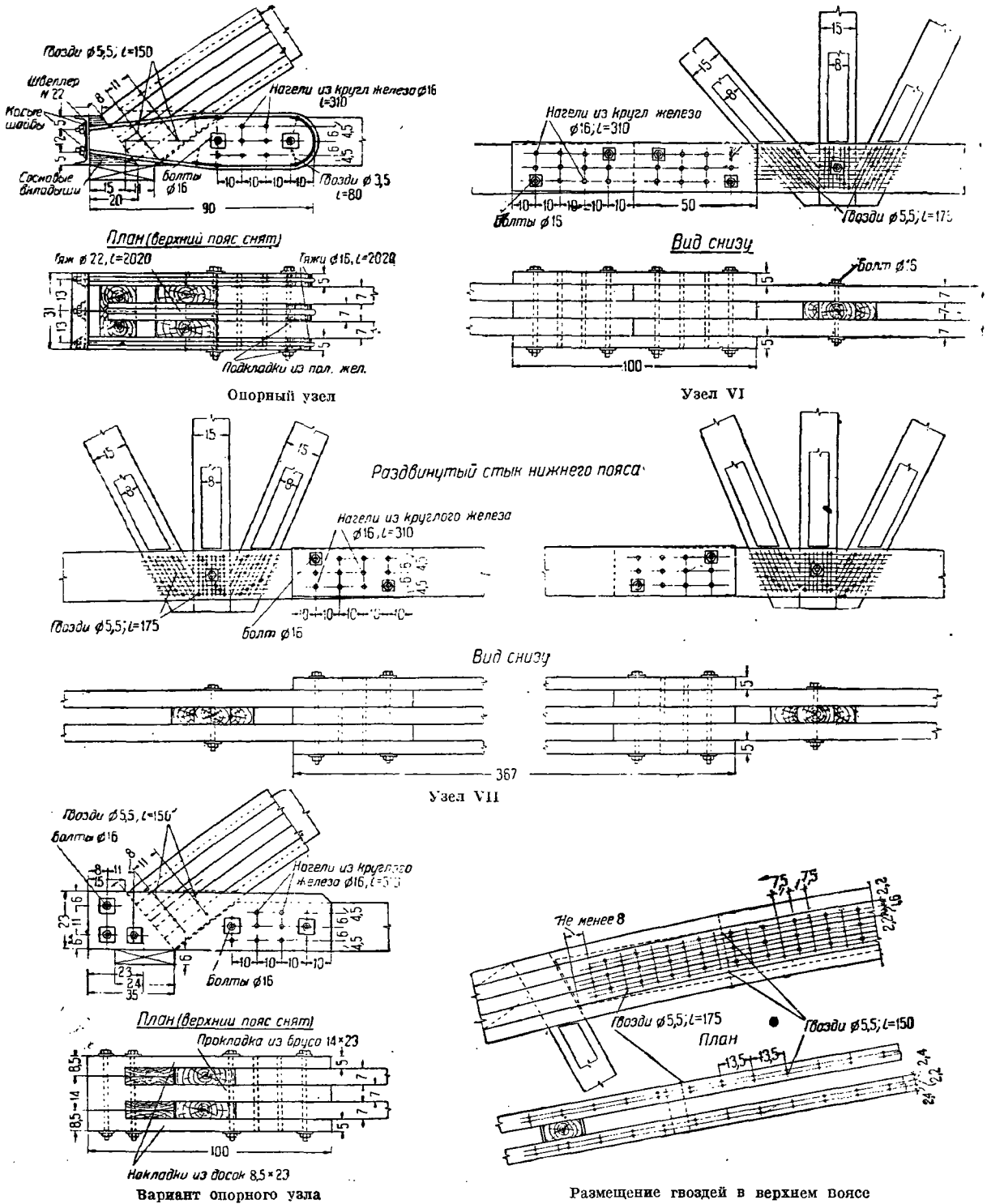
$$t = \frac{15\,200}{4\,960} = 7,8 < 8 \text{ кг/см}^2.$$

Связи между фермами запроектированы в виде анкерных прогонов по тому же типу, как и в примере 2.

Расположение этих прогонов указано на фиг. 106.

Рабочий чертеж фермы представлен на фиг. 106 и 107.





Фиг. 107. Детали фермы

### 6. Таблицы сегментных ферм <sup>1</sup>

#### 1) Общие пояснения

Таблицы разработаны: 1) для цилиндрических покрытий с кровлей непосредственно по верх-

нему поясу ферм или по прогонам, расположенным в узлах и третях панелей, и 2) для покрытий с трапециевидными или М-образными фонарями. Расчет и конструирование ферм выполнены в соответствии с указаниями разд. 3 и 4, поясненными на примерах 1 и 3 (разд. 5).

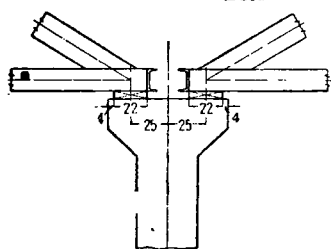
<sup>1</sup> Разработаны ОТИС Промстройпроекта.



Принятые схемы ферм изображены на фиг. 4—5. Расчетные пролеты их изменяются от 9,5 до 34,5 м через 1,0 м, что при эксцентричной установке ферм на опоры многопролетных зданий (фиг. 108) соответствует пролетам между осями опор в 10—35 м.

Фермы рассчитаны под нагрузку от 400 до 1700 кг/м при трех значениях снеговой нагрузки. Лесоматериал—полусухая сосна (с влажностью от 18 до 23%) марки 1 по  $\frac{ОСТ}{ВКС}$  7099, соответствующей III классу сооружений.

Допускаемые напряжения приняты с коэффициентом 0,9 от основных по  $\frac{ОСТ}{ВКС}$  7063.



Фиг. 108

## 2) Принципы конструирования

### а) Верхний пояс

Типы и размеры поперечных сечений приняты по табл. 10.

Толщина  $h$  брусков пояса принята равной 4, 0, 5, 0 и 6, 0 см. Бруски толщиной 4 см применены только для ферм малых пролетов (10—14 м) в целях уменьшения начальных напряжений от гнуща.

Гвозди, соединяющие отдельные бруски и ветви, размещаются равномерно по всей длине пояса; шаг гвоздей определяется по расчетной панели.

Вертикальные гвозди размещаются поровну сверху и снизу пояса. Для поясов с уширенной средней ветвью (фиг. 10) число гвоздей в каждой крайней ветви составляет  $\frac{1}{5}$ , а в средней —  $\frac{2}{5}$  от полного расчетного числа, указанного в таблицах.

Если в фермах с фонарем шаг вертикальных гвоздей получается равным 40—50  $d_{гв}$  ( $d_{гв}$  — диаметр гвоздя), на участках пояса, примыкающих к узлу, необходимо увеличивать интенсивность забоя вертикальных гвоздей сверх расчетного числа, указанного в таблицах, назначая шаг их не более 20—25  $d_{гв}$ . Длину этих участков усиленного забоя следует принимать равной приблизительно по 0,1 длины панели в обе стороны от узла.

Горизонтальные гвозди также размещаются поровну во всех перекрытых прокладкой брусках с обеих сторон пояса. При высоте пояса в 25 и 30 см прокладкой перекрываются только три средних бруска, при меньшей высоте — все бруски.

Высота прокладки определяется высотой пояса (или перекрытых брусков) и стрелкой его кривизны на середине панели.

Если шаг горизонтальных гвоздей получается более 40  $d_{гв}$ , то гвозди размещаются в шахмат по фиг. 67. Примеры предельно частой расстановки горизонтальных гвоздей приведены на фиг. 15.

### б) Нижний пояс

Типы и размеры сечений приняты по фиг. 16 и табл. 14. Толщина досок нижнего пояса принята равной размеру  $a$  верхнего пояса, поэтому в таблицах указана только высота их.

Стыки нижнего пояса перекрываются прокладками (той же толщины, как и поясные доски) и накладками (толщиной по табл. 14) и конструируются на стальных цилиндрических нагелях или на гвоздях (при двухветвевом поясе фермы). При толщине поясных досок  $a = 4$  см стыки конструируются только на гвоздях, поэтому для таких типов сечений число нагелей в таблицах не приводится. Гвозди в стыках размещаются поровну с обеих сторон пояса.

В нагельных стыках 20% от указанного в таблицах числа нагелей заменяются стяжными болтами того же диаметра; в гвоздевых стыках ставится не менее двух болтов  $d = 12$  мм с каждой стороны стыка. Стыки располагаются симметрично относительно середины пролета через одну панель нижнего пояса и конструируются по фиг. 21.

### в) Решетка

Типы и размеры сечений приняты по табл. 17—18. При двухветвевых поясах элементы решетки во многих случаях имеют цельное сечение из одной доски (без нашивок). Гвозди, соединяющие нашивки и прокладки с основными досками, размещаются поровну с обеих сторон решетки. Число прокладок между досками двухветвевой решетки назначается в зависимости от длины раскоса или стойки:

- при теоретической длине элементов решетки по 2,5 м — 2 прокладки;
- при теоретической длине элементов решетки от 2,51 до 4,0 м — 4 прокладки;
- при теоретической длине элементов решетки больше 4,0 м — 6 прокладок.

Длина прокладок 20—22 см соответственно диаметрам гвоздей  $d = 5 - 5,5$  мм.

Во всех узлах верхнего и нижнего поясов кроме гвоздей ставится по одному стяжному болту независимо от числа сходящихся там элементов решетки.

Диаметры этих болтов принимаются такими же, как и в стыках нижнего пояса.

Число двусторонних гвоздей для прикрепления решетки к поясу в месте постановки болта может быть уменьшено против указанного в таблицах на 3.

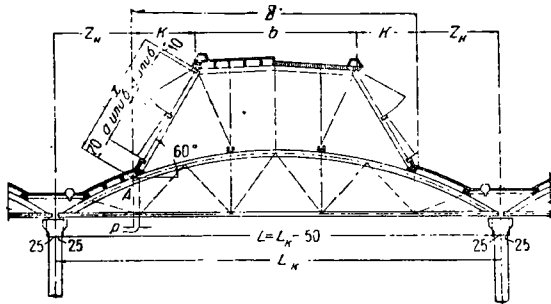
### г) Опорные узлы

Основной тип узла принят по фиг. 34 с круглыми стальными тяжами. Кроме того приведены узлы на щековых врубках по фиг. 29, которые могут применяться лишь при условии изготовления накладок и прокладок из воздушно-сухой сосны марки 0 и если есть гарантия высокого качества выполнения врубок. Расстояние от центра узла со щековыми врубками до торца фермы принято равным 23 см.

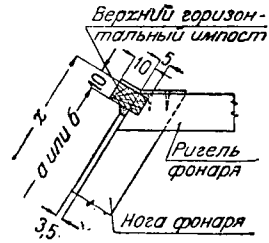
Число нагелей или гвоздей для прикрепления накладок и прокладок опорных узлов к нижнему поясу назначено таким же, как и с каждой стороны стыка нижнего пояса.

Если верхний пояс имеет уширенную среднюю ветвь, то в торце этой ветви делается вырез по фиг. 31 для пропуска тяжей.

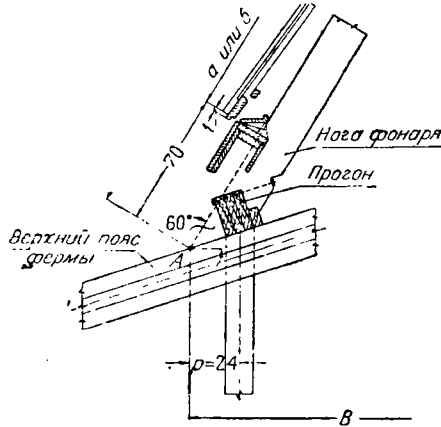
Таблица 23



Фиг. 109



Фиг. 109а



Фиг. 109б

Основные Данные по Фонарям (см. Фиг. 109)

| Пролет между осями колонн $L_k$ в м | Пролет фермы $L = L_k - 0,1$ в м | Число стоек с каждой стороны фонаря | Опред. световой высоты фонаря по одной стороне |         |   | Сумма высот световых проемов с обеих сторон в % от $L_k$ | $x$   | $B$    | $b$   | $Z_k$  | $Z_b$     |
|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--|---------|---|--|-------|--------|-------|--|-----------|
|                                     |                                  |                                     | $a$  | $\beta$ | $a - \beta$                                     |  |       |        |       | $\frac{L_k - B}{2}$                          | $Z_k + K$ |
|                                     |                                  |                                     | Число стандарт. фонарей перешлет.              |         | Сумма высот светов. проем. с одной стороны в см |  |       |        |       | Величина удаления фонаря от оси колонны в мм |           |
| 10,0                                | 9,5                              | 4                                   | —  | 2       | 239   | 47,8   | 329   | 5 681  | 2 158 | 3 802  |           |
| 11,0                                | 10,5                             | 4                                   | —  | 2       | 239   | 43,4   | 329   | 6 232  | 2 394 | 4 029  |           |
| 12,0                                | 11,5                             | 5                                   | 1  | 1       | 239   | 48,3   | 380   | 6 780  | 2 610 | 4 510  |           |
| 13,0                                | 12,5                             | 5                                   | 1  | 1       | 239   | 44,6   | 380   | 7 328  | 2 836 | 4 736  |           |
| 14,0                                | 13,5                             | 5                                   | 1  | 1       | 239   | 41,4   | 380   | 7 876  | 3 072 | 4 972  |           |
| 15,0                                | 14,5                             | 6                                   | 2  | —       | 341   | 45,4   | 431   | 8 424  | 2 583 | 4 738  |           |
| 16,0                                | 15,5                             | 6                                   | 2  | —       | 341   | 42,6   | 431   | 10 482 | 2 760 | 4 915  |           |
| 17,0                                | 16,5                             | 6                                   | 2  | —       | 341   | 40,1   | 431   | 11 124 | 2 938 | 5 093  |           |
| 18,0                                | 17,5                             | 7                                   | 1  | 2       | 409,5   | 45,5   | 509,5 | 11 772 | 3 114 | 5 661  |           |
| 19,0                                | 18,5                             | 7                                   | 1  | 2       | 409,5   | 43,1   | 509,5 | 12 414 | 3 288 | 5 935  |           |
| 20,0                                | 19,5                             | 7                                   | 1  | 2       | 409,5   | 40,9   | 509,5 | 13 062 | 3 469 | 6 016  |           |
| 21,0                                | 20,5                             | 8                                   | 2  | 1       | 460,5   | 43,3   | 560,5 | 13 704 | 3 648 | 6 450  |           |
| 22,0                                | 21,5                             | 8                                   | 2  | 1       | 460,5   | 41,8   | 560,5 | 14 352 | 3 824 | 6 626  |           |
| 23,0                                | 22,5                             | 9                                   | 3  | —       | 511,5   | 44,4   | 611,5 | 14 994 | 4 003 | 7 070  |           |
| 24,0                                | 23,5                             | 9                                   | 3  | —       | 511,5   | 42,6   | 611,5 | 15 642 | 4 179 | 7 236  |           |
| 25,0                                | 24,5                             | 9                                   | 3  | —       | 511,5   | 40,9   | 611,5 | 17 824 | 3 588 | 6 645  |           |
| 26,0                                | 25,5                             | 10                                  | 2  | 2       | 580   | 44,6   | 690   | 18 536 | 3 732 | 7 182  |           |
| 27,0                                | 26,5                             | 10                                  | 2  | 2       | 580   | 42,9   | 690   | 19 240 | 3 880 | 7 330  |           |
| 28,0                                | 27,5                             | 10                                  | 2  | 2       | 580   | 41,4   | 690   | 19 952 | 4 084 | 7 474  |           |
| 29,0                                | 28,5                             | 10                                  | 2  | 2       | 580   | 40,0   | 690   | 20 666 | 4 172 | 7 622  |           |
| 30,0                                | 29,5                             | 11                                  | 3  | 1       | 631   | 42,0   | 741   | 18 224 | 5 888 | 9 593  |           |
| 31,0                                | 30,5                             | 11                                  | 3  | 1       | 631   | 40,7   | 741   | 18 824 | 6 088 | 9 793  |           |
| 32,0                                | 31,5                             | 11                                  | 3  | 1       | 631   | 39,9   | 741   | 19 424 | 6 288 | 9 993  |           |
| 33,0                                | 32,5                             | 11                                  | 3  | 1       | 631   | 38,2   | 741   | 20 024 | 6 434 | 10 139                                       |           |
| 34,0                                | 33,5                             | 11                                  | 3  | 1       | 631   | 37,1   | 741   | 20 622 | 6 684 | 10 389                                       |           |
| 35,0                                | 34,5                             | 11                                  | 3  | 1       | 631   | 36,0   | 741   | 21 210 | 6 895 | 10 600                                       |           |

д) Связи между фермами

Тип и размеры связей определяются в каждом отдельном случае в соответствии с указаниями раад. 3 и 4.

е) Элементы фонарей

Размеры фонарей приняты из расчета освещенности помещений промышленных зданий II раз-

ряда с работами средней точности без учета бокового освещения.

Деревянные переплеты, определяющие размеры проемов фонаря между горизонтальными импостами, приняты в два стекла (а) высотой 1 195 мм (без учета капельника) и в три стекла (б) высотой 1 705 мм.

Основные данные по фонарям и соответствующие им линейные размеры наружного контура несущей конструкции фонаря приведены в табл. 23 и на фиг. 109.

Ключ к пользованию таблицами

Число панелей по верхнему поясу  
Высота фермы  $H$  см.

Строит. подъем  $f \approx \frac{L}{200}$

Радиус кривизны  $R$

Схемы ферм



см. фиг. 4

Расчетный пролет  $L$  м

| Нагрузка  | Верхний пояс |     |               | Нижний пояс  |       | Систовая нагрузка   | Решетка |        |         |             | Опорные узлы |   | Расход материалов   |        |         |
|---|--------------|-----|---------------|--|-------|---|---------|--------|---------|-------------|--------------|---|---|--------|---------|
|   | Размеры      |     |               | Гвозди   |       |   | Ширина  | Нашпвы |         | Гвозди      |              | Тяжи  | Врубли  | Дерево | Сталь 8 |
|   | $a$          | $b$ | $\frac{h}{n}$ | Прогоны  | Настл |   |         | Ширина | Толщина | В ренег-исе | В углах      |   |   |        |         |
| Постоянная и снеговая в т-нах на 1 ног. м горизонтальной проекции верхнего пояса  | См. табл. 10 |     |               | Полное число гвоздей во второй панели: вверху — вертикальных, внизу — горизонтальных. Размеры гвоздей — табл. 13 |       | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса | Ширина  |        |         |             | Тяжи         |   | Дерево  |        | Сталь 8 |
| Ширина крайней ветви  |              |     |               | При устройстве кровли по прогонам, расположенным в углах и третьих панелях                                       |       |   | Толщина |        |         |             | Врубли       |   | В кубических метрах   |        |         |
| Ширина средней ветви  |              |     |               | Кровля из сплошного настла непосредственно по верхнему поясу   |       | Нашпвы  |         |        |         | Дерево      |              | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |   |        |         |
| $h$ — высота, $n$ — число брусков по высоте   |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Гвозди  |         |        |         | Сталь       |              |   | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |        |         |
| При устройстве кровли по прогонам, расположенным в углах и третьих панелях  |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | В ренег-исе   |         |        |         | Сталь       |              | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |   |        |         |
| Кровля из сплошного настла непосредственно по верхнему поясу  |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | В углах   |         |        |         | Сталь       |              |   | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |        |         |
| Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса   |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Тяжи  |         |        |         | Сталь       |              | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |   |        |         |
| Вверху — число нагелей, внизу — число гвоздей с каждой стороны стыка. Число $n$ рядов вытелей по высоте — табл. 14. Размеры панелей и гвоздей — табл. 15 и 16 |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Врубли  |         |        |         | Сталь       |              |   | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |        |         |
| Схема нагрузок — фиг. 54  |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Дерево  |         |        |         | Сталь       |              | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |   |        |         |
| Толщина досок решетки равна размеру $a$ верхнего пояса  |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Сталь   |         |        |         | Сталь       |              |   | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |        |         |
| Типы сечений — табл. 17   |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Сталь   |         |        |         | Сталь       |              | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |   |        |         |
| Для решетки с напиками — полное число гвоздей на 1 ног. м для двухветвевой решетки — в одной прокладке. Размеры гвоздей — табл. 19                            |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Сталь   |         |        |         | Сталь       |              |   | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |        |         |
| Число гвоздей на один конец расноса или стойки с обеих сторон пояса. Размеры гвоздей — табл. 20   |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Сталь   |         |        |         | Сталь       |              | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |   |        |         |
| Вверху — диаметры тяжей по накладкам, внизу — по прокладкам. Наружные диаметры нарезки — по табл. 22  |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Сталь   |         |        |         | Сталь       |              |   | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |        |         |
| Высота накладок и прокладок углов на ценовых врубках  |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Сталь   |         |        |         | Сталь       |              | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |   |        |         |
| В кубических метрах   |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Сталь   |         |        |         | Сталь       |              |   | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |        |         |
| В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла)                                       |              |     |               | Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером и верхнего пояса          |       | Сталь   |         |        |         | Сталь       |              | В килограммах (для ферм с опорными узлами на т-нах, со стыками ивннего пояса на т-нах и при кровле из сплошного настла) |   |        |         |

Таблицы сегментных ферм  
Размеры брусков и досок в см, гвоздей и тяжей—в мм

Таблица 1

Число панелей . . . . .  
Высота фермы . . . . .  $H = 141$  см  
Спроят. подъем . . . . .  $f = 5$  »  
Радиус кривизны . . . . .  $R = 871$  »

L = 9,5 м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |        | Нижний пояс |       | Снеговая нагрузка | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |      | Расход материалов |        |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------|--------|-------------|-------|-------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|------|-------------------|--------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |        | Высота      | Стыки |                   | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         |              | Тяжи | Грубки            | Дерево | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Пласти |             |       |                   |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В углах |              |      |                   |        |         |
| 0,4      | 4            | — | 12            | 12      | 10     | 12          | 0     | 0,1               | 5       | —       | —       | —         | 2       | 8            | 12   | 0,30              | 17     |         |
|          |              |   | 3             | 20      | 18     |             |       | 0,15              | 7       | —       | —       | —         | 3       |              |      | 0,31              | 17     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,2               | 8       | —       | —       | —         | 4       |              |      | 0,32              | 18     |         |
| 0,5      | 4            | — | 12            | 16      | 12     | 12          | 0     | 0,2               | 8       | —       | —       | —         | 4       | 8            | 12   | 0,32              | 20     |         |
|          |              |   | 3             | 24      | 20     |             |       | 0,25              | 10      | —       | —       | —         | 4       |              |      | 0,33              | 20     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,3               | 12      | —       | —       | —         | 5       |              |      | 0,34              | 20     |         |
| 0,6      | 4            | — | 12            | 22      | 16     | 12          | 0     | 0,2               | 10      | —       | —       | —         | 4       | 8            | 12   | 0,34              | 22     |         |
|          |              |   | 3             | 24      | 24     |             |       | 0,3               | 12      | —       | —       | —         | 5       |              |      | 0,35              | 22     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4               | 12      | 8       | 3       | 3         | 6       |              |      | 0,41              | 23     |         |
| 0,7      | 4            | — | 16            | 10      | 10     | 12          | 0     | 0,2               | 10      | —       | —       | —         | 4       | 10           | 13   | 0,39              | 26     |         |
|          |              |   | 4             | 28      | 20     |             |       | 0,3               | 12      | —       | —       | —         | 5       |              |      | 0,40              | 26     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4               | 10      | 7       | 3       | 3         | 7       |              |      | 0,45              | 27     |         |
| 0,8      | 4            | — | 16            | 12      | 12     | 12          | 0     | 0,3               | 12      | —       | —       | —         | 5       | 10           | 14   | 0,40              | 29     |         |
|          |              |   | 4             | 32      | 24     |             |       | 0,4               | 10      | 7       | 3       | 3         | 7       |              |      | 0,45              | 30     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5               | 10      | 7       | 3       | 4         | 8       |              |      | 0,45              | 31     |         |
| 0,9      | 4            | — | 16            | 16      | 12     | 12          | 0     | 0,3               | 12      | —       | —       | —         | 6       | 12           | 15   | 0,41              | 35     |         |
|          |              |   | 4             | 32      | 28     |             |       | 0,4               | 10      | 7       | 3       | 3         | 7       |              |      | 0,46              | 35     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5               | 10      | 7       | 3       | 4         | 8       |              |      | 0,46              | 36     |         |
| 1,0      | 4            | — | 16            | 18      | 12     | 14          | 0     | 0,4               | 10      | 7       | 3       | 4         | 7       | 12           | 16   | 0,47              | 38     |         |
|          |              |   | 4             | 32      | 2      |             |       | 0,5               | 10      | 7       | 3       | 4         | 8       |              |      | 0,47              | 39     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,6               | 12      | 8       | 3       | 5         | 10      |              |      | 0,49              | 39     |         |
| 1,1      | 4            | — | 16            | 22      | 16     | 15          | 0     | 0,5               | 12      | 8       | 3       | 4         | 9       | 12           | 17   | 0,51              | 42     |         |
|          |              |   | 4             | 32      | 32     |             |       | 0,6               | 12      | 8       | 3       | 5         | 10      |              |      | 0,51              | 42     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,7               | 12      | 8       | 3       | 5         | 11      |              |      | 0,51              | 42     |         |
| 1,2      | 5            | — | 20            | 32      | 26     | 17          | 12    | 0,6               | 14      | —       | —       | —         | 6       | 12           | 17   | 0,62              | 55     |         |
|          |              |   | 5             | 26      | 20     |             |       | 0,7               | 15      | —       | —       | —         | 7       |              |      | 0,63              | 55     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,8               | 17      | —       | —       | —         | 8       |              |      | 0,64              | 56     |         |
| 1,3      | 5            | — | 20            | 34      | 28     | 20          | 13    | 0,7               | 15      | —       | —       | —         | 7       | 12           | 20   | 0,67              | 59     |         |
|          |              |   | 5             | 28      | 22     |             |       | 0,8               | 17      | —       | —       | —         | 8       |              |      | 0,69              | 60     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,9               | 20      | —       | —       | —         | 9       |              |      | 0,71              | 60     |         |
| 1,5      | 5            | 5 | 16            | 24      | 16     | 14          | 10    | 0,8               | 14      | —       | —       | 3         | 10      | 12           | 14   | 0,87              | 69     |         |
|          |              |   | 4             | 43      | 48     |             |       | 0,9               | 14      | —       | —       | 3         | 10      |              |      | 0,87              | 69     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,0               | 15      | —       | —       | 4         | 12      |              |      | 0,89              | 70     |         |
| 1,7      | 5            | 5 | 16            | 32      | 20     | 15          | 11    | 0,8               | 14      | —       | —       | 3         | 10      | 12           | 15   | 0,90              | 79     |         |
|          |              |   | 4             | 48      | 48     |             |       | 0,9               | 15      | —       | —       | 3         | 12      |              |      | 0,91              | 80     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,1               | 15      | —       | —       | 4         | 12      |              |      | 0,91              | 80     |         |

|     |   |   |    |    |    |    |     |     |    |   |     |     |    |      |      |    |
|-----|---|---|----|----|----|----|-----|-----|----|---|-----|-----|----|------|------|----|
| 0,9 | 4 | — | 16 | 20 | 14 | 14 | 0   | 0,3 | 10 | 7 | 3   | 3   | 6  | 12   | 0,52 | 38 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,4 | 10 | 7 | 3   | 4   | 8  | 0,52 | 39   |    |
| 0,9 | 4 | — | 4  | 32 | 32 | 14 | 90  | 0,5 | 12 | 8 | 3   | 4,5 | 9  | 16   | 0,54 | 39 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,4 | 10 | 7 | 3   | 4   | 8  | 0,53 | 42   |    |
| 1,0 | 4 | — | 16 | 24 | 18 | 15 | 0   | 0,4 | 10 | 7 | 3   | 4   | 8  | 12   | 0,53 | 42 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,5 | 12 | 8 | 3   | 4,5 | 9  | 0,56 | 42   |    |
| 1,0 | 4 | — | 4  | 32 | 32 | 15 | 100 | 0,6 | 14 | 8 | 3   | 5   | 10 | 16   | 0,57 | 42 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,5 | 14 | — | —   | —   | 6  | 0,70 | 56   |    |
| 1,1 | 5 | — | 20 | 36 | 28 | 18 | 12  | 0,5 | 14 | — | —   | —   | 6  | 12   | 0,70 | 56 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,6 | 16 | — | —   | —   | 7  | 0,72 | 56   |    |
| 1,1 | 5 | — | 5  | 28 | 24 | 18 | 81  | 0,7 | 18 | — | —   | —   | 8  | 18   | 0,73 | 56 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,6 | 16 | — | —   | —   | 7  | 0,72 | 56   |    |
| 1,2 | 5 | — | 20 | 35 | 32 | 20 | 13  | 0,6 | 16 | — | —   | —   | 7  | 12   | 0,74 | 60 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,7 | 18 | — | —   | —   | 8  | 0,76 | 61   |    |
| 1,2 | 5 | — | 5  | 30 | 26 | 20 | 89  | 0,8 | 20 | — | —   | —   | 9  | 18   | 0,77 | 61 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,7 | 18 | — | —   | —   | 8  | 0,76 | 61   |    |
| 1,3 | 5 | — | 20 | 42 | 34 | 20 | 14  | 0,7 | 18 | — | —   | —   | 8  | 14   | 0,76 | 66 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,8 | 20 | — | —   | —   | 9  | 0,77 | 66   |    |
| 1,3 | 5 | — | 5  | 34 | 28 | 20 | 96  | 0,9 | 20 | 9 | 3,5 | 5,5 | 9  | 18   | 0,87 | 67 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,8 | 14 | — | —   | —   | 10 | 0,99 | 76   |    |
| 1,5 | 5 | 5 | 16 | 34 | 22 | 15 | 11  | 0,8 | 14 | — | —   | —   | 10 | 12   | 0,99 | 76 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,9 | 15 | — | —   | —   | 12 | 1,00 | 77   |    |
| 1,5 | 5 | 5 | 4  | 48 | 48 | 15 | 0   | 1,0 | 15 | — | —   | —   | 12 | 16   | 1,00 | 77 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,8 | 12 | — | —   | —   | 10 | 1,07 | 83   |    |
| 1,7 | 5 | 5 | 20 | 62 | 48 | 15 | 12  | 0,8 | 12 | — | —   | —   | 12 | 17   | 1,07 | 83 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,9 | 14 | — | —   | —   | 12 | 1,11 | 84   |    |
| 1,7 | 5 | 5 | 5  | 66 | 50 | 15 | 0   | 1,1 | 15 | — | —   | —   | 14 | 18   | 1,12 | 85 |
|     |   |   |    |    |    |    |     | 0,9 | 14 | — | —   | —   | 12 | 1,11 | 84   |    |

# СЕРМЕНТНЫЕ ФЕРМЫ

Число панелей . . . . . 8  
 Высота фермы . . . . .  $H = 158$  см  
 Строит. высота . . . . .  $f = 5$  м  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 968$  м

$L = 10,5$  м



Таблица 25

| Нагрузка | Верхний пояс |   |        |    | Пояс нижний |       | Решетка           |        |          |        |        |        | Опорные узлы |      | Расход материала |        |       |
|----------|--------------|---|--------|----|-------------|-------|-------------------|--------|----------|--------|--------|--------|--------------|------|------------------|--------|-------|
|          | Размеры      |   | Гвозди |    | Высота      | Стыки | Снеговая нагрузка | Ширина | Напильки |        |        | Гвозди | В узлах      | Тяжи | Врубки           | Дерево | Сталь |
|          | a            | b | n      | π  |             |       |                   |        | Прогоны  | Настил | Ширина |        |              |      |                  |        |       |
| 0,4      | 4            | — | 12     | 18 | 12          | 12    | 0,1               | 7      | —        | —      | —      | —      | 2            | 8    | 8                | 0,34   | 19    |
|          |              |   | 3      | 20 | 20          | 12    | 0,15              | 10     | —        | —      | —      | —      | 3            | 4    | 12               | 12     | 0,36  |
| 0,5      | 4            | — | 13     | 24 | 18          | 12    | 0,2               | 12     | —        | —      | —      | —      | 4            | 8    | 12               | 0,38   | 21    |
|          |              |   | 3      | 24 | 20          | 12    | 0,25              | 10     | 7        | 3      | 3      | 5      | 6            | 12   | 12               | 12     | 0,43  |
| 0,6      | 4            | — | 12     | 30 | 24          | 12    | 0,3               | 12     | 8        | 3      | 3      | 7      | 4            | 10   | 12               | 0,45   | 26    |
|          |              |   | 3      | 24 | 24          | 12    | 0,4               | 12     | 8        | 3      | 4      | 7      | 7            | 12   | 12               | 12     | 0,45  |
| 0,7      | 4            | — | 16     | 14 | 12          | 12    | 0,2               | 12     | —        | —      | —      | —      | 4            | 10   | 10               | 0,44   | 29    |
|          |              |   | 4      | 32 | 24          | 12    | 0,3               | 10     | 7        | 3      | 3      | 6      | 7            | 14   | 13               | 13     | 0,49  |
| 0,8      | 4            | — | 16     | 16 | 12          | 12    | 0,4               | 10     | 7        | 3      | 3      | 4      | 6            | 12   | 14               | 0,50   | 35    |
|          |              |   | 4      | 32 | 32          | 12    | 0,5               | 12     | 8        | 3      | 4,5    | 9      | 14           | 14   | 14               | 14     | 0,52  |

|     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |    |   |     |   |    |      |      |    |
|-----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|---|-----|---|----|------|------|----|
| 0,7 | 1 | — | 16 | 19 | 12 | 36 | 12 | 12 | 0  | 77 | 0,2 | 10 | 7 | 3   | 3 | 5  | 10   | 0,54 | 31 |
|     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 0,3 | 10 | 7 | 3   | 4 | 6  | 14   | 0,54 | 32 |
| 0,8 | 4 | — | 16 | 24 | 36 | 16 | 14 | 36 | 0  | 88 | 0,3 | 10 | 7 | 3   | 4 | 7  | 12   | 0,56 | 39 |
|     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 0,4 | 10 | 7 | 3   | 5 | 8  | 16   | 0,56 | 40 |
| 0,9 | 4 | — | 16 | 28 | 36 | 20 | 15 | 36 | 0  | 99 | 0,3 | 10 | 7 | 3   | 4 | 7  | 12   | 0,58 | 42 |
|     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 0,4 | 10 | 7 | 3   | 5 | 8  | 16   | 0,58 | 43 |
| 1,0 | 5 | — | 20 | 40 | 32 | 34 | 17 | 26 | 12 | 81 | 0,4 | 14 | — | —   | — | 6  | 12   | 0,74 | 54 |
|     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 0,5 | 17 | — | —   | — | 7  | 17   | 0,77 | 55 |
| 1,1 | 5 | — | 20 | 44 | 36 | 30 | 30 | 36 | 13 | 89 | 0,5 | 17 | — | —   | — | 7  | 12   | 0,82 | 61 |
|     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 0,6 | 20 | — | —   | — | 8  | 18   | 0,84 | 62 |
| 1,2 | 5 | — | 20 | 48 | 38 | 32 | 20 | 40 | 14 | 97 | 0,6 | 20 | — | —   | — | 8  | 14   | 0,84 | 67 |
|     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 0,7 | 20 | 9 | 3,5 | 5 | 9  | 18   | 0,95 | 68 |
| 1,3 | 5 | 5 | 16 | 34 | 56 | 24 | 15 | 36 | 10 | 10 | 0,7 | 14 | — | —   | 4 | 10 | 1,07 | 74   |    |
|     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 0,8 | 15 | — | —   | 4 | 12 | 16   | 1,08 | 74 |
| 1,5 | 5 | 5 | 20 | 60 | 64 | 50 | 15 | 52 | 12 | 0  | 0,8 | 14 | — | —   | 5 | 12 | 1,21 | 85   |    |
|     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 0,9 | 15 | — | —   | 5 | 14 | 18   | 1,22 | 86 |
| 1,7 | 5 | 5 | 20 | 68 | 72 | 56 | 17 | 60 | 13 | 0  | 0,8 | 14 | — | —   | 5 | 12 | 1,21 | 93   |    |
|     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 0,9 | 15 | — | —   | 5 | 14 | 18   | 1,23 | 94 |
|     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 1,1 | 17 | — | —   | 6 | 16 | 1,26 | 95   |    |

Число панелей . . . . .  $N = 170 \frac{8}{8}$   
 Высота фермы . . . . .  $f = 6 \frac{6}{6}$  м  
 Стрелит. подвиг . . . . .  $R = 1059 \frac{6}{6}$   
 Радиус кривизны . . . . .  $L = 11,5 \text{ м}$

$L = 11,5 \text{ м}$

Таблица 26



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               | Нижний пояс |        | Снеговая нагрузка |      |        |        | Решетка |           |         |      | Опорные узлы |        | Расход материала |  |
|----------|--------------|---|---------------|-------------|--------|-------------------|------|--------|--------|---------|-----------|---------|------|--------------|--------|------------------|--|
|          | а            | б | $\frac{h}{n}$ | Прогоны     | Настил | Высота            | Стык | Ширина | Ширина | Толщина | В решетке | В узлах | Тяжи | Врубни       | Дерево | Сталь 3          |  |
| 0,4      | 4            | — | 12            | 20          | 14     | 12                | 0    | 0,1    | 8      | —       | —         | 3       | 8    | 12           | 0,38   | 20               |  |
|          |              |   | 3             | 27          | 27     |                   | 44   | 0,15   | 10     | —       | —         | 3       | 8    | 12           | 0,39   | 20               |  |
| 0,5      | 4            | — | 12            | 30          | 22     | 12                | 0    | 0,2    | 10     | 7       | 3         | 3       | 4    | 8            | 0,47   | 22               |  |
|          |              |   | 3             | 27          | 27     |                   | 55   | 0,25   | 10     | 7       | 3         | 3       | 5    | 12           | 0,47   | 22               |  |
| 0,6      | 4            | — | 12            | 40          | 30     | 12                | 0    | 0,2    | 10     | 7       | 3         | 3       | 5    | 10           | 0,48   | 30               |  |
|          |              |   | 3             | 27          | 27     |                   | 66   | 0,3    | 12     | 8       | 3         | 4       | 6    | 14           | 0,50   | 30               |  |
|          |              |   |               |             |        |                   |      |        |        |         |           |         |      |              | 0,50   | 31               |  |



Таблица 27

Число панелей . . . . . 8  
 Высота фермы . . . . .  $H = 185$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 6$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1149$  »

$L = 12,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |        | Нижний пояс |        | Снеговая нагрузка | Решетка |         |         |            |         | Опорные узлы |      | Расход материалов |        |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------|--------|-------------|--------|-------------------|---------|---------|---------|------------|---------|--------------|------|-------------------|--------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |        | Высота      | Стяжки |                   | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди     |         |              | Тяжи | Врубки            | Дерево | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Протоны | Пласти |             |        |                   |         | Ширина  | Толщина | В решет-ке | В узлах |              |      |                   |        |         |
| 0,4      | 4            | - | 12            | 25      | 20     | 12          | 0      | 0,1               | 10      | 7       | 3       | 2          | 3       | 8            | 12   | 0,51              | 21     |         |
|          |              |   | 3             | 27      | 27     |             | 47     | 0,15              | 10      | 7       | 3       | 3          | 4       |              |      | 0,51              | 22     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 0,2               | 10      | 7       | 3       | 3          | 5       |              |      | 0,51              | 22     |         |
| 0,5      | 4            | - | 12            | 38      | 30     | 12          | 0      | 0,2               | 10      | 7       | 3       | 4          | 5       | 10           | 12   | 0,52              | 26     |         |
|          |              |   | 3             | 27      | 27     |             | 59     | 0,25              | 12      | 8       | 3       | 4          | 6       |              |      | 0,54              | 27     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 0,3               | 12      | 8       | 3       | 4,5        | 6       |              |      | 0,54              | 27     |         |
| 0,6      | 4            | - | 16            | 20      | 12     | 12          | 0      | 0,2               | 10      | 7       | 3       | 4          | 5       | 10           | 13   | 0,58              | 31     |         |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             | 72     | 0,3               | 10      | 7       | 3       | 5          | 6       |              |      | 0,58              | 32     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 0,4               | 10      | 7       | 3       | 6          | 8       |              |      | 0,5               | 32     |         |
| 0,7      | 4            | - | 16            | 26      | 18     | 13          | 0      | 0,2               | 10      | 7       | 3       | 4          | 5       | 12           | 15   | 0,60              | 38     |         |
|          |              |   | 4             | 33      | 36     |             | 88     | 0,3               | 10      | 7       | 3       | 5          | 7       |              |      | 0,60              | 39     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 0,4               | 12      | 8       | 3       | 6          | 9       |              |      | 0,63              | 39     |         |
| 0,8      | 4            | - | 16            | 30      | 24     | 14          | 0      | 0,3               | 10      | 7       | 3       | 5          | 7       | 12           | 16   | 0,62              | 41     |         |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             | 95     | 0,4               | 12      | 8       | 3       | 6          | 9       |              |      | 0,64              | 42     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 0,5               | 12      | 8       | 3       | 7          | 10      |              |      | 0,64              | 43     |         |
| 0,9      | 5            | - | 15            | 34      | 26     | 15          | 12     | 0,3               | 15      | -       | -       | -          | 5       | 12           | 16   | 0,70              | 53     |         |
|          |              |   | 3             | 21      | 21     |             | 80     | 0,4               | 14      | 8       | 3,5     | 4          | 6       |              |      | 0,79              | 54     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 0,5               | 15      | 8       | 3,5     | 5          | 7       |              |      | 0,80              | 55     |         |
| 1,0      | 5            | - | 20            | 22      | 16     | 15          | 13     | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 4          | 6       | 12           | 17   | 0,88              | 61     |         |
|          |              |   | 4             | 28      | 28     |             | 88     | 0,5               | 12      | 8       | 3,5     | 5          | 7       |              |      | 0,88              | 62     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 0,6               | 12      | 8       | 3,5     | 5,5        | 8       |              |      | 0,88              | 62     |         |
| 1,1      | 5            | - | 20            | 26      | 18     | 17          | 14     | 0,5               | 12      | 8       | 3,5     | 5          | 7       | 14           | 19   | 0,90              | 68     |         |
|          |              |   | 4             | 28      | 28     |             | 97     | 0,6               | 12      | 8       | 3,5     | 6          | 8       |              |      | 0,90              | 69     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 0,7               | 14      | 8       | 3,5     | 7          | 9       |              |      | 0,92              | 70     |         |
| 1,2      | 5            | - | 20            | 30      | 22     | 18          | 15     | 0,6               | 12      | 8       | 3,5     | 6          | 8       | 14           | 20   | 0,92              | 73     |         |
|          |              |   | 4             | 28      | 28     |             | 106    | 0,7               | 15      | 8       | 3,5     | 6,5        | 10      |              |      | 0,95              | 74     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 0,8               | 15      | 8       | 3,5     | 7,5        | 10      |              |      | 0,95              | 74     |         |
| 1,3      | 6            | - | 20            | 30      | 22     | 19          | 15     | 0,7               | 17      | -       | -       | -          | 8       | 14           | 20   | 1,06              | 81     |         |
|          |              |   | 4             | 28      | 28     |             | 90     | 0,8               | 19      | -       | -       | -          | 9       |              |      | 1,08              | 82     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 0,9               | 20      | -       | -       | -          | 10      |              |      | 1,09              | 83     |         |
| 1,5      | 6            | - | 20            | 38      | 28     | 19          | 18     | 0,8               | 15      | 8       | 3,5     | 4          | 9       | 16           | 21   | 1,14              | 96     |         |
|          |              |   | 4             | 28      | 28     |             | 103    | 0,9               | 15      | 8       | 3,5     | 4,5        | 10      |              |      | 1,14              | 97     |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 1,0               | 18      | 9       | 3,5     | 4,5        | 11      |              |      | 1,19              | 98     |         |
| 1,7      | 6            | - | 25            | 80      | 66     | 22          | 20     | 0,8               | 18      | 8       | 3,5     | 4          | 9       | 16           | 24   | 1,21              | 107    |         |
|          |              |   | 5             | 38      | 32     |             | 117    | 0,9               | 18      | 8       | 3,5     | 4,5        | 10      |              |      | 1,21              | 108    |         |
|          |              |   |               |         |        |             |        | 1,1               | 15      | 8       | 3,5     | 5          | 12      |              |      | 1,23              | 109    |         |

Число панелей . . . . . 8  
 Высота формы . . . . .  $H = 200$  см  
 Стрелка подъема . . . . .  $f = 7$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1234$  »

$L = 13,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |        | Нижний пояс |       | Средняя нагрузка | Решетка |         |         |         |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------|--------|-------------|-------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |        | Высота      | Ступи |                  | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди  |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Пласти |             |       |                  |         | Ширина  | Толщина | В рядах | В узлах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 4            | — | 12            | 34      | 26     | 12          | 0     | 0,1              | 10      | 7       | 3       | 3       | 3       | 8            | 12     | 0,54              | 23      |
|          |              |   | 3             | 30      | 30     |             | 52    | 0,15             | 10      | 7       | 3       | 3       | 4       |              |        | 0,54              | 23      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,2              | 10      | 7       | 3       | 4       | 5       |              |        | 0,54              | 23      |
| 0,5      | 4            | — | 12            | 48      | 36     | 12          | 0     | 0,2              | 10      | 7       | 3       | 4       | 5       | 10           | 12     | 0,55              | 29      |
|          |              |   | 3             | 30      | 30     |             | 64    | 0,25             | 12      | 8       | 3       | 5       | 6       |              |        | 0,58              | 30      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,3              | 12      | 8       | 3       | 5,5     | 7       |              |        | 0,58              | 30      |
| 0,6      | 4            | — | 16            | 24      | 18     | 12          | 0     | 0,2              | 10      | 7       | 3       | 4,5     | 5       | 10           | 14     | 0,62              | 33      |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 77    | 0,3              | 10      | 7       | 3       | 6       | 7       |              |        | 0,62              | 34      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4              | 12      | 8       | 3       | 7,5     | 9       |              |        | 0,65              | 34      |
| 0,7      | 4            | — | 16            | 30      | 22     | 14          | 0     | 0,2              | 10      | 7       | 3       | 4,5     | 5       | 12           | 16     | 0,65              | 40      |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 90    | 0,3              | 10      | 7       | 3       | 6       | 7       |              |        | 0,65              | 41      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4              | 12      | 8       | 3       | 7,5     | 9       |              |        | 0,68              | 42      |
| 0,8      | 5            | — | 15            | 36      | 26     | 15          | 11    | 0,3              | 12      | 8       | 3,5     | 4       | 5       | 12           | 15     | 0,82              | 54      |
|          |              |   | 3             | 24      | 24     |             | 76    | 0,4              | 14      | 8       | 3,5     | 5       | 6       |              |        | 0,84              | 54      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5              | 15      | 8       | 3,5     | 5,5     | 7       |              |        | 0,85              | 55      |
| 0,9      | 5            | — | 20            | 22      | 16     | 15          | 12    | 0,3              | 10      | 7       | 3,5     | 4       | 5       | 12           | 17     | 0,90              | 59      |
|          |              |   | 4             | 32      | 32     |             | 86    | 0,4              | 10      | 7       | 3,5     | 5       | 6       |              |        | 0,90              | 60      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5              | 12      | 8       | 3,5     | 6       | 8       |              |        | 0,93              | 61      |
| 1,0      | 5            | — | 20            | 26      | 18     | 17          | 14    | 0,4              | 10      | 7       | 3,5     | 5       | 6       | 14           | 19     | 0,92              | 66      |
|          |              |   | 4             | 32      | 32     |             | 96    | 0,5              | 12      | 8       | 3,5     | 6       | 8       |              |        | 0,96              | 68      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,6              | 14      | 8       | 3,5     | 7       | 9       |              |        | 0,98              | 68      |
| 1,1      | 5            | — | 20            | 30      | 22     | 18          | 15    | 0,5              | 12      | 8       | 3,5     | 6       | 8       | 14           | 20     | 0,98              | 74      |
|          |              |   | 4             | 32      | 32     |             | 105   | 0,6              | 14      | 8       | 3,5     | 7       | 9       |              |        | 1,00              | 74      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,7              | 15      | 8       | 3,5     | 7,5     | 10      |              |        | 1,01              | 75      |
| 1,2      | 6            | — | 20            | 34      | 24     | 17          | 16    | 0,6              | 13      | 8       | 3,5     | 3,5     | 9       | 14           | 19     | 1,14              | 83      |
|          |              |   | 4             | 28      | 28     |             | 83    | 0,7              | 13      | 8       | 3,5     | 4       | 8       |              |        | 1,14              | 83      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,8              | 15      | 8       | 3,5     | 4,5     | 10      |              |        | 1,17              | 85      |
| 1,3      | 6            | — | 20            | 38      | 28     | 18          | 17    | 0,7              | 15      | 8       | 3,5     | 4       | 9       | 16           | 20     | 1,19              | 90      |
|          |              |   | 4             | 28      | 28     |             | 97    | 0,8              | 15      | 8       | 3,5     | 4,5     | 10      |              |        | 1,19              | 91      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,9              | 15      | 8       | 3,5     | 5       | 10      |              |        | 1,19              | 91      |
| 1,5      | 6            | — | 25            | 84      | 70     | 20          | 19    | 0,8              | 13      | 8       | 3,5     | 4,5     | 10      | 16           | 23     | 1,26              | 105     |
|          |              |   | 5             | 40      | 34     |             | 112   | 0,9              | 15      | 8       | 3,5     | 5       | 11      |              |        | 1,28              | 106     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,0              | 15      | 8       | 3,5     | 5,5     | 12      |              |        | 1,28              | 107     |
| 1,7      | 6            | — | 25            | 96      | 78     | 24          | 22    | 0,8              | 13      | 8       | 3,5     | 4,5     | 10      | 16           | 26     | 1,33              | 121     |
|          |              |   | 5             | 46      | 38     |             | 127   | 0,9              | 15      | 8       | 3,5     | 5       | 11      |              |        | 1,35              | 122     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,1              | 18      | 9       | 3,5     | 6       | 13      |              |        | 1,40              | 123     |

Таблица 29

Число панелей . . . . . 8  
 Высота фермы . . . . .  $H = 214$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 7$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1\ 335$  »

$L = 14,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |        | Нижний пояс |       | Снеговая нагрузка | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |       | Расход материалов |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------|--------|-------------|-------|-------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|-------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |        | Высота      | Стыки |                   | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубы | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Настли |             |       |                   |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В углах |              |       |                   |         |
| 0,4      | 5            | — | 15            | 16      | 12     | 12          | 6     | 0,1               | 10      | 7       | 3,5     | 3         | 2       | 10           | 12    | 0,78              | 33      |
|          |              |   | 3             | 24      | 21     |             | 41    | 0,15              | 10      | 7       | 3,5     | 3         | 3       |              |       | 0,78              | 33      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 3         | 3       |              |       | 0,78              | 33      |
| 0,5      | 5            | — | 15            | 22      | 14     | 12          | 7     | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 3         | 4       | 10           | 12    | 0,78              | 38      |
|          |              |   | 3             | 27      | 27     |             | 51    | 0,25              | 10      | 7       | 3,5     | 4         | 4       |              |       | 0,78              | 38      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 4         | 5       |              |       | 0,82              | 39      |
| 0,6      | 5            | — | 15            | 30      | 22     | 14          | 9     | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 3         | 4       | 12           | 14    | 0,82              | 46      |
|          |              |   | 3             | 27      | 27     |             | 62    | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 4,5       | 5       |              |       | 0,86              | 47      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4               | 14      | 8       | 3,5     | 6         | 6       |              |       | 0,88              | 48      |
| 0,7      | 5            | — | 15            | 36      | 28     | 14          | 10    | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 4         | 4       | 12           | 14    | 0,82              | 50      |
|          |              |   | 3             | 27      | 27     |             | 72    | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 4,5       | 5       |              |       | 0,86              | 51      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4               | 14      | 8       | 3,5     | 6         | 6       |              |       | 0,88              | 51      |
| 0,8      | 5            | — | 20            | 22      | 14     | 14          | 12    | 0,3               | 10      | 7       | 3,5     | 4,5       | 5       | 12           | 16    | 0,94              | 56      |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             | 82    | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 6         | 7       |              |       | 0,98              | 56      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5               | 12      | 8       | 3,3     | 7         | 8       |              |       | 0,98              | 57      |
| 0,9      | 5            | — | 20            | 26      | 18     | 15          | 13    | 0,3               | 10      | 7       | 3,5     | 5         | 5       | 14           | 17    | 0,97              | 66      |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             | 92    | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 6         | 7       |              |       | 1,00              | 68      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5               | 12      | 8       | 3,5     | 7         | 8       |              |       | 1,00              | 68      |
| 1,0      | 5            | — | 20            | 32      | 22     | 18          | 15    | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 6         | 7       | 14           | 20    | 1,05              | 71      |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             | 102   | 0,5               | 12      | 8       | 3,5     | 7         | 8       |              |       | 1,05              | 72      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,6               | 15      | 8       | 3,5     | 9         | 10      |              |       | 1,09              | 73      |
| 1,1      | 5            | — | 20            | 36      | 26     | 19          | 16    | 0,5               | 12      | 8       | 3,5     | 7         | 8       | 14           | 21    | 1,07              | 79      |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             | 113   | 0,6               | 15      | 8       | 3,5     | 9         | 10      |              |       | 1,10              | 80      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,7               | 15      | 8       | 3,5     | 10        | 11      |              |       | 1,10              | 81      |
| 1,2      | 6            | — | 20            | 40      | 30     | 18          | 17    | 0,6               | 13      | 8       | 3,5     | 4         | 8       | 14           | 20    | 1,25              | 87      |
|          |              |   | 4             | 32      | 32     |             | 96    | 0,7               | 15      | 8       | 3,5     | 5         | 9       |              |       | 1,27              | 88      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,8               | 15      | 8       | 3,5     | 5,5       | 10      |              |       | 1,27              | 89      |
| 1,3      | 6            | — | 20            | 46      | 34     | 20          | 18    | 0,7               | 15      | 8       | 3,5     | 5         | 9       | 16           | 22    | 1,32              | 99      |
|          |              |   | 4             | 32      | 32     |             | 104   | 0,8               | 15      | 8       | 3,5     | 5,5       | 10      |              |       | 1,32              | 100     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,9               | 20      | 9       | 3,5     | 6         | 12      |              |       | 1,39              | 102     |
| 1,5      | 6            | — | 25            | 96      | 80     | 23          | 21    | 0,8               | 15      | 8       | 3,5     | 6         | 11      | 16           | 25    | 1,44              | 121     |
|          |              |   | 5             | 46      | 38     |             | 120   | 0,9               | 15      | 8       | 3,5     | 6         | 12      |              |       | 1,44              | 122     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,0               | 18      | 9       | 3,5     | 7         | 13      |              |       | 1,49              | 123     |
| 1,7      | 6            | — | 25            | 110     | 90     | 25          | 23    | 0,8               | 15      | 8       | 3,5     | 6         | 11      | 18           | 27    | 1,48              | 136     |
|          |              |   | 5             | 52      | 44     |             | 136   | 0,9               | 15      | 8       | 3,5     | 6,5       | 12      |              |       | 1,48              | 137     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,1               | 18      | 9       | 3,5     | 7,5       | 14      |              |       | 1,53              | 139     |

Число панелей . . . . .  $N = 8$   
 Высота фермы . . . . .  $H = 229$  см  
 Стропил. шаг . . . . .  $f = 8$  м  
 Шаг ст. кровли . . . . .  $R = 1,425$  м

$L = 15,5$  м

Таблица 30

| Нагрузка | Верхний пояс |   |         |        | Нижний пояс |        | Снеговая нагрузка |        |          |   | Решетка |         |      |        | Опорные узлы |         | Расход материала |        |
|----------|--------------|---|---------|--------|-------------|--------|-------------------|--------|----------|---|---------|---------|------|--------|--------------|---------|------------------|--------|
|          | Размеры      |   | Прогоны | Льозин | Настил      | Высота | Стыни             | Ширина | Нашивные |   | Льозин  |         | Тяжи | Врубки | Дерево       | Сталь 3 |                  |        |
|          | a            | b |         |        |             |        |                   |        | h        | n | Ширина  | Толщина |      |        |              |         | В решетке        | В улах |
| 0,4      | 5            | — | 15      | 16     | 14          | 12     | 6                 | 0,1    | 10       | 7 | 3,5     | 3       | 2    | 10     | 12           | 0,89    | 33               |        |
|          |              |   | 3       | 27     | 21          | 44     | 44                | 0,15   | 10       | 7 | 3,5     | 3       | 3    | 12     | 12           | 0,83    | 34               |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 0,2    | 10       | 7 | 3,5     | 4       | 4    |        |              | 0,83    | 34               |        |
| 0,5      | 5            | — | 15      | 26     | 18          | 12     | 8                 | 0,2    | 10       | 7 | 3,5     | 4       | 4    | 10     | 12           | 0,84    | 42               |        |
|          |              |   | 3       | 27     | 27          | 55     | 55                | 0,25   | 10       | 7 | 3,5     | 4,5     | 4    | 14     | 12           | 0,84    | 43               |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 0,3    | 12       | 8 | 3,5     | 6       | 5    |        |              | 0,37    | 43               |        |
| 0,6      | 5            | — | 15      | 34     | 24          | 14     | 9                 | 0,2    | 10       | 7 | 3,5     | 4       | 4    | 12     | 14           | 0,88    | 49               |        |
|          |              |   | 3       | 27     | 27          | 66     | 66                | 0,3    | 12       | 8 | 3,5     | 5       | 5    | 16     | 14           | 0,92    | 49               |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 0,4    | 15       | 8 | 3,5     | 6,5     | 7    |        |              | 0,95    | 51               |        |
| 0,7      | 5            | — | 15      | 42     | 32          | 14     | 10                | 0,2    | 10       | 7 | 3,5     | 4       | 4    | 12     | 16           | 0,88    | 51               |        |
|          |              |   | 3       | 27     | 27          | 77     | 77                | 0,3    | 12       | 8 | 3,5     | 5,5     | 5    | 16     | 16           | 0,92    | 52               |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 0,4    | 15       | 8 | 3,5     | 7       | 7    |        |              | 0,95    | 53               |        |
| 0,8      | 5            | — | 20      | 26     | 18          | 14     | 12                | 0,3    | 10       | 7 | 3,5     | 5,5     | 6    | 12     | 17           | 1,01    | 60               |        |
|          |              |   | 4       | 36     | 36          | 89     | 89                | 0,4    | 12       | 8 | 3,5     | 7       | 7    | 18     | 17           | 1,04    | 60               |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 0,5    | 12       | 8 | 3,5     | 8       | 8    |        |              | 1,04    | 61               |        |
| 0,9      | 5            | — | 20      | 32     | 24          | 17     | 13                | 0,3    | 10       | 7 | 3,5     | 6       | 6    | 14     | 19           | 1,06    | 71               |        |
|          |              |   | 4       | 36     | 36          | 99     | 99                | 0,4    | 12       | 8 | 3,5     | 7       | 7    | 20     | 19           | 1,10    | 72               |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 0,5    | 14       | 8 | 3,5     | 9       | 9    |        |              | 1,12    | 73               |        |
| 1,0      | 5            | — | 20      | 38     | 28          | 19     | 15                | 0,4    | 12       | 8 | 3,5     | 7       | 7    | 14     | 21           | 1,14    | 77               |        |
|          |              |   | 4       | 36     | 36          | 110    | 110               | 0,5    | 14       | 8 | 3,5     | 9       | 9    | 20     | 21           | 1,16    | 79               |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 0,6    | 15       | 8 | 3,5     | 10      | 10   |        |              | 1,17    | 80               |        |
| 1,1      | 6            | — | 20      | 42     | 32          | 18     | 16                | 0,5    | 13       | 8 | 3,5     | 4,5     | 7    | 14     | 20           | 1,33    | 86               |        |
|          |              |   | 4       | 32     | 32          | 94     | 94                | 0,6    | 15       | 8 | 3,5     | 5       | 9    | 20     | 20           | 1,36    | 87               |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 0,7    | 15       | 8 | 3,5     | 6       | 10   |        |              | 1,36    | 88               |        |
| 1,2      | 6            | — | 20      | 48     | 36          | 19     | 18                | 0,6    | 15       | 8 | 3,5     | 5       | 9    | 16     | 21           | 1,38    | 100              |        |
|          |              |   | 4       | 32     | 32          | 102    | 102               | 0,7    | 15       | 8 | 3,5     | 6       | 10   | 22     | 21           | 1,38    | 101              |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 0,8    | 18       | 9 | 3,5     | 6,5     | 11   |        |              | 1,44    | 102              |        |
| 1,3      | 6            | — | 25      | 98     | 80          | 20     | 19                | 0,7    | 13       | 8 | 3,5     | 6       | 10   | 16     | 23           | 1,44    | 111              |        |
|          |              |   | 5       | 46     | 38          | 111    | 111               | 0,8    | 15       | 8 | 3,5     | 6,5     | 11   | 22     | 23           | 1,46    | 112              |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 0,9    | 15       | 8 | 3,5     | 7,5     | 12   |        |              | 1,46    | 113              |        |
| 1,5      | 6            | — | 25      | 112    | 94          | 24     | 22                | 0,8    | 15       | 8 | 3,5     | 7       | 11   | 18     | 26           | 1,56    | 134              |        |
|          |              |   | 5       | 54     | 44          | 128    | 128               | 0,9    | 15       | 8 | 3,5     | 7,5     | 12   | 24     | 26           | 1,56    | 135              |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 1,0    | 18       | 9 | 3,5     | 8       | 14   |        |              | 1,61    | 137              |        |
| 1,7      | 7            | — | 25      | 138    | 106         | 23     | 14                | 0,8    | 15       | 8 | 3,5     | 6,5     | 12   | 18     | 26           | 1,78    | 160              |        |
|          |              |   | 5       | 64     | 52          | 145    | 145               | 0,9    | 18       | 9 | 3,5     | 7       | 13   | 25     | 26           | 1,84    | 151              |        |
|          |              |   |         |        |             |        |                   | 1,1    | 20       | 9 | 3,5     | 8,5     | 16   |        |              | 1,88    | 164              |        |

Таблица 31

Число панелей . . . . . 8  
 Высота фермы . . . . .  $H = 24,3$  м  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 8$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1522$  »

$L = 16,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |        | Нижний пояс |       | Числовая нагрузка | Решетка |         |         |             |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |     |
|----------|--------------|---|---------------|---------|--------|-------------|-------|-------------------|---------|---------|---------|-------------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|-----|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |        | Высота      | Стыки |                   | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди      |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь в |     |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Пласти |             |       |                   |         | Ширина  | Толщина | В респот-ке | В углах |              |        |                   |         |     |
| 0,4      | 5            | — | 15            | 20      | 14     | 12          | 7     | 0,1               | 10      | 7       | 3,5     | 3           | 2       | 10           | 12     | 0,89              | 41      |     |
|          |              |   | 3             | 30      | 27     |             |       | 47                | 0,15    | 10      | 7       | 3,5         | 4       |              |        | 3                 | 0,89    | 42  |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 0,2     | 10      | 7       | 3,5         | 4,5     |              |        | 4                 | 0,89    | 42  |
| 0,5      | 5            | — | 15            | 32      | 22     | 12          | 8     | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 4,5         | 4       | 10           | 12     | 0,90              | 45      |     |
|          |              |   | 3             | 30      | 30     |             |       | 58                | 0,25    | 12      | 8       | 3,5         | 5       |              |        | 5                 | 0,94    | 46  |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 0,3     | 12      | 8       | 3,5         | 6       |              |        | 5                 | 0,94    | 46  |
| 0,6      | 5            | — | 15            | 42      | 30     | 14          | 10    | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 5           | 4       | 12           | 14     | 0,94              | 56      |     |
|          |              |   | 3             | 30      | 30     |             |       | 70                | 0,3     | 14      | 8       | 3,5         | 6,5     |              |        | 6                 | 1,01    | 58  |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 0,4     | 15      | 8       | 3,5         | 8       |              |        | 7                 | 1,02    | 59  |
| 0,7      | 5            | — | 20            | 28      | 18     | 14          | 12    | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 5           | 4       | 12           | 16     | 1,08              | 67      |     |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             |       | 81                | 0,3     | 10      | 7       | 3,5         | 6,5     |              |        | 6                 | 1,08    | 68  |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 0,4     | 12      | 8       | 3,5         | 8       |              |        | 7                 | 1,12    | 69  |
| 0,8      | 5            | — | 20            | 34      | 24     | 15          | 13    | 0,3               | 10      | 7       | 3,5     | 7           | 6       | 14           | 18     | 1,11              | 76      |     |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             |       | 94                | 0,4     | 12      | 8       | 3,5         | 8       |              |        | 7                 | 1,15    | 77  |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 0,5     | 14      | 8       | 3,5         | 10      |              |        | 9                 | 1,18    | 79  |
| 0,9      | 5            | — | 20            | 42      | 30     | 18          | 15    | 0,3               | 10      | 7       | 3,5     | 7           | 6       | 14           | 20     | 1,17              | 84      |     |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             |       | 105               | 0,4     | 12      | 8       | 3,5         | 8,5     |              |        | 8                 | 1,21    | 86  |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 0,5     | 14      | 8       | 3,5         | 10      |              |        | 9                 | 1,23    | 87  |
| 1,0      | 6            | — | 20            | 46      | 34     | 17          | 16    | 0,4               | 13      | 8       | 3,5     | 4           | 7       | 14           | 19     | 1,41              | 96      |     |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             |       | 91                | 0,5     | 13      | 8       | 3,5         | 5       |              |        | 8                 | 1,41    | 98  |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 0,6     | 15      | 8       | 3,5         | 6       |              |        | 9                 | 1,41    | 99  |
| 1,1      | 6            | — | 20            | 54      | 40     | 18          | 17    | 0,5               | 13      | 8       | 3,5     | 5           | 8       | 16           | 21     | 1,43              | 108     |     |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             |       | 100               | 0,6     | 15      | 8       | 3,5         | 6       |              |        | 9                 | 1,46    | 109 |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 0,7     | 15      | 8       | 3,5         | 7       |              |        | 10                | 1,46    | 110 |
| 1,2      | 6            | — | 25            | 104     | 86     | 20          | 19    | 0,6               | 13      | 8       | 3,5     | 6           | 9       | 16           | 23     | 1,55              | 122     |     |
|          |              |   | 5             | 50      | 40     |             |       | 109               | 0,8     | 13      | 8       | 3,5         | 6,5     |              |        | 10                | 1,55    | 123 |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 0,7     | 15      | 8       | 3,5         | 8       |              |        | 12                | 1,58    | 125 |
| 1,3      | 6            | — | 25            | 112     | 92     | 22          | 20    | 0,7               | 15      | 8       | 3,5     | 7           | 11      | 16           | 25     | 1,62              | 130     |     |
|          |              |   | 5             | 54      | 44     |             |       | 119               | 0,8     | 15      | 8       | 3,5         | 8       |              |        | 12                | 1,62    | 131 |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 0,9     | 18      | 9       | 3,5         | 9       |              |        | 13                | 1,68    | 132 |
| 1,5      | 6            | — | 25            | 130     | 108    | 25          | 24    | 0,8               | 15      | 8       | 3,5     | 8,5         | 12      | 18           | 27     | 1,71              | 158     |     |
|          |              |   | 5             | 62      | 52     |             |       | 136               | 0,9     | 18      | 9       | 3,5         | 9       |              |        | 14                | 1,77    | 160 |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 1,0     | 20      | 9       | 3,5         | 10      |              |        | 15                | 1,80    | 161 |
| 1,7      | 7            | — | 25            | 146     | 122    | 24          | 15    | 0,8               | 18      | 9       | 3,5     | 9           | 13      | 18           | 27     | 2,05              | 174     |     |
|          |              |   | 5             | 72      | 60     |             |       | 155               | 0,9     | 18      | 9       | 3,5         | 10      |              |        | 14                | 2,05    | 175 |
|          |              |   |               |         |        |             |       |                   | 1,1     | 22      | 9       | 3,5         | 12      |              |        | 17                | 2,11    | 178 |

Число панелей . . . . . 8  
 Высота фермы . . . . .  $H = 259$  см  
 Стрелка подъема . . . . .  $f = 9$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1607$  »

$L = 17,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |        | Нижний пояс |       | Снеговая нагрузка | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------|--------|-------------|-------|-------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |        | Высота      | Стыки |                   | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Настил |             |       |                   |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В углах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 5            | — | 15            | 28      | 20     | 12          | 7     | 0,1               | 10      | 7       | 3,5     | 3         | 3       | 10           | 12     | 0,95              | 44      |
|          |              |   | 3             | 30      | 30     |             | 50    | 0,15              | 10      | 7       | 3,5     | 4         | 3       |              |        | 0,95              | 44      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 5         | 4       |              |        | 0,95              | 45      |
| 0,5      | 5            | — | 15            | 40      | 30     | 12          | 9     | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 5         | 4       | 12           | 13     | 0,96              | 52      |
|          |              |   | 3             | 30      | 30     |             | 62    | 0,25              | 12      | 8       | 3,5     | 6         | 5       |              |        | 1,00              | 53      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 7         | 5       |              |        | 1,00              | 53      |
| 0,6      | 5            | — | 15            | 50      | 40     | 15          | 11    | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 5,5       | 4       | 12           | 15     | 1,03              | 63      |
|          |              |   | 3             | 30      | 30     |             | 74    | 0,3               | 14      | 8       | 3,5     | 7,5       | 6       |              |        | 1,10              | 65      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4               | 17      | 9       | 3,5     | 9,5       | 8       |              |        | 1,15              | 66      |
| 0,7      | 5            | — | 20            | 32      | 24     | 15          | 12    | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 5,5       | 5       | 12           | 17     | 1,17              | 69      |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 87    | 0,3               | 10      | 7       | 3,5     | 7,5       | 6       |              |        | 1,17              | 70      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 9,5       | 6       |              |        | 1,21              | 72      |
| 0,8      | 5            | — | 20            | 40      | 30     | 17          | 14    | 0,3               | 10      | 7       | 3,5     | 8         | 6       | 14           | 19     | 1,20              | 79      |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 99    | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 10        | 8       |              |        | 1,25              | 30      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5               | 15      | 8       | 3,5     | 12        | 10      |              |        | 1,28              | 82      |
| 0,9      | 6            | — | 20            | 45      | 36     | 17          | 15    | 0,3               | 10      | 7       | 3,5     | 4         | 5       | 14           | 19     | 1,43              | 93      |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             | 87    | 0,4               | 13      | 8       | 3,5     | 5         | 7       |              |        | 1,49              | 95      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5               | 13      | 8       | 3,5     | 6         | 8       |              |        | 1,49              | 96      |
| 1,0      | 6            | — | 20            | 54      | 40     | 18          | 17    | 0,4               | 13      | 8       | 3,5     | 5,5       | 7       | 16           | 20     | 1,52              | 105     |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             | 97    | 0,5               | 13      | 8       | 3,5     | 6,5       | 8       |              |        | 1,52              | 106     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,6               | 15      | 8       | 3,5     | 7         | 10      |              |        | 1,55              | 108     |
| 1,1      | 6            | — | 25            | 102     | 84     | 19          | 18    | 0,5               | 10      | 7       | 3,5     | 6         | 8       | 16           | 22     | 1,55              | 118     |
|          |              |   | 5             | 48      | 40     |             | 106   | 0,6               | 13      | 8       | 3,5     | 7,5       | 10      |              |        | 1,61              | 120     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,7               | 15      | 8       | 3,5     | 8         | 11      |              |        | 1,64              | 121     |
| 1,2      | 6            | — | 25            | 112     | 92     | 22          | 20    | 0,6               | 13      | 8       | 3,5     | 7,5       | 10      | 16           | 24     | 1,69              | 129     |
|          |              |   | 5             | 52      | 44     |             | 116   | 0,7               | 15      | 8       | 3,5     | 8,5       | 11      |              |        | 1,72              | 130     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,8               | 15      | 8       | 3,5     | 9,5       | 12      |              |        | 1,72              | 131     |
| 1,3      | 6            | — | 25            | 122     | 100    | 23          | 22    | 0,7               | 15      | 8       | 3,5     | 8,5       | 11      | 18           | 26     | 1,75              | 150     |
|          |              |   | 5             | 58      | 48     |             | 160   | 0,8               | 15      | 8       | 3,5     | 9,5       | 12      |              |        | 1,75              | 151     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,9               | 18      | 9       | 3,5     | 10        | 14      |              |        | 1,81              | 153     |
| 1,5      | 7            | — | 25            | 140     | 114    | 23          | 14    | 0,8               | 18      | 9       | 3,5     | 9         | 14      | 18           | 27     | 2,10              | 167     |
|          |              |   | 5             | 68      | 56     |             | 145   | 0,9               | 20      | 9       | 3,5     | 10        | 15      |              |        | 2,14              | 168     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,0               | 20      | 9       | 3,5     | 10,5      | 16      |              |        | 2,14              | 169     |
| 1,7      | 7            | — | 25            | 158     | 130    | 25          | 16    | 0,8               | 18      | 9       | 3,5     | 9         | 14      | 20           | 29     | 2,19              | 195     |
|          |              |   | 5             | 78      | 64     |             | 164   | 0,9               | 20      | 9       | 3,5     | 10        | 15      |              |        | 2,23              | 196     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,1               | 22      | 9       | 3,5     | 11,5      | 18      |              |        | 2,26              | 199     |

Число панелей . . . . . 8  
 Высота фермы . . . . .  $H = 273$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 9$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1704$  »

$L = 18,5$  м

Таблица 33



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |        |        | Нижний пояс |       | Средняя нагрузка | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|---|---------------|--------|--------|-------------|-------|------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди |        | Высота      | Стыки |                  | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогны | Настил |             |       |                  |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 5            | - | 15            | 30     | 22     | 12          | 8     | 0,1              | 10      | 7       | 3,5     | 3         | 3       | 10           | 12     | 1,00              | 45      |
|          |              |   | 3             | 33     | 33     |             |       | 0,15             | 10      | 7       | 3,5     | 4,5       | 4       |              |        | 1,00              | 46      |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 0,2              | 10      | 7       | 3,5     | 5,5       | 4       |              |        | 1,00              | 47      |
| 0,5      | 5            | - | 15            | 44     | 34     | 12          | 9     | 0,2              | 10      | 7       | 3,5     | 6         | 4       | 12           | 13     | 1,01              | 55      |
|          |              |   | 3             | 33     | 33     |             |       | 0,25             | 12      | 8       | 3,5     | 7         | 5       |              |        | 1,06              | 56      |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 0,3              | 14      | 8       | 3,5     | 8         | 6       |              |        | 1,09              | 57      |
| 0,6      | 5            | - | 20            | 28     | 20     | 13          | 11    | 0,2              | 10      | 7       | 3,5     | 6         | 5       | 12           | 15     | 1,18              | 64      |
|          |              |   | 4             | 44     | 44     |             |       | 0,3              | 10      | 7       | 3,5     | 8         | 6       |              |        | 1,18              | 65      |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 0,4              | 12      | 8       | 3,5     | 10        | 8       |              |        | 1,23              | 67      |
| 0,7      | 5            | - | 20            | 36     | 26     | 15          | 13    | 0,2              | 10      | 7       | 3,5     | 6,5       | 5       | 14           | 18     | 1,24              | 77      |
|          |              |   | 4             | 44     | 44     |             |       | 0,3              | 12      | 8       | 3,5     | 8,5       | 7       |              |        | 1,29              | 79      |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 0,4              | 12      | 8       | 3,5     | 10,5      | 8       |              |        | 1,29              | 80      |
| 0,8      | 5            | - | 20            | 46     | 34     | 18          | 15    | 0,3              | 12      | 8       | 3,5     | 8,5       | 7       | 14           | 20     | 1,35              | 87      |
|          |              |   | 4             | 44     | 44     |             |       | 0,4              | 12      | 8       | 3,5     | 10,5      | 8       |              |        | 1,35              | 88      |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 0,5              | 15      | 8       | 3,5     | 13        | 10      |              |        | 1,39              | 90      |
| 0,9      | 6            | - | 20            | 52     | 38     | 17          | 16    | 0,3              | 10      | 7       | 3,5     | 4,5       | 6       | 14           | 20     | 1,50              | 93      |
|          |              |   | 4             | 40     | 40     |             |       | 0,4              | 13      | 8       | 3,5     | 6         | 7       |              |        | 1,57              | 99      |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 0,5              | 13      | 8       | 3,5     | 7         | 8       |              |        | 1,57              | 101     |
| 1,0      | 6            | - | 20            | 60     | 46     | 19          | 18    | 0,4              | 13      | 8       | 3,5     | 6         | 7       | 16           | 22     | 1,63              | 114     |
|          |              |   | 4             | 40     | 40     |             |       | 0,5              | 15      | 8       | 3,5     | 7         | 9       |              |        | 1,66              | 116     |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 0,6              | 15      | 8       | 3,5     | 8         | 10      |              |        | 1,66              | 117     |
| 1,1      | 6            | - | 25            | 122    | 100    | 20          | 19    | 0,5              | 13      | 8       | 3,5     | 7         | 9       | 16           | 24     | 1,72              | 127     |
|          |              |   | 5             | 58     | 48     |             |       | 0,6              | 13      | 8       | 3,5     | 8         | 10      |              |        | 1,72              | 128     |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 0,7              | 15      | 8       | 3,5     | 9         | 12      |              |        | 1,76              | 130     |
| 1,2      | 6            | - | 25            | 132    | 110    | 23          | 21    | 0,6              | 13      | 8       | 3,5     | 8         | 10      | 16           | 25     | 1,81              | 143     |
|          |              |   | 5             | 64     | 52     |             |       | 0,7              | 15      | 8       | 3,5     | 9         | 12      |              |        | 1,84              | 144     |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 0,8              | 18      | 9       | 3,5     | 10,5      | 13      |              |        | 1,91              | 146     |
| 1,3      | 6            | - | 25            | 144    | 120    | 24          | 23    | 0,7              | 15      | 8       | 3,5     | 9,5       | 12      | 18           | -      | 1,87              | 158     |
|          |              |   | 5             | 68     | 58     |             |       | 0,8              | 18      | 9       | 3,5     | 10,5      | 13      |              |        | 1,94              | 159     |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 0,9              | 20      | 9       | 3,5     | 12        | 15      |              |        | 1,97              | 161     |
| 1,5      | 7            | - | 25            | 166    | 138    | 24          | 15    | 0,8              | 18      | 9       | 3,5     | 11        | 14      | 18           | -      | 2,27              | 184     |
|          |              |   | 5             | 82     | 68     |             |       | 0,9              | 20      | 9       | 3,5     | 11,5      | 16      |              |        | 2,31              | 186     |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 1,0              | 22      | 9       | 3,5     | 12,5      | 17      |              |        | 2,35              | 187     |
| 1,7      | 7            | - | 30            | 126    | 104    | 26          | 17    | 0,8              | 18      | 9       | 3,5     | 11        | 14      | 20           | -      | 2,53              | 215     |
|          |              |   | 5             | 66     | 56     |             |       | 0,9              | 20      | 9       | 3,5     | 12        | 16      |              |        | 2,57              | 217     |
|          |              |   |               |        |        |             |       | 1,1              | 22      | 9       | 3,5     | 14        | 18      |              |        | 2,61              | 219     |

Число наветей . . . . . 10  
 Высота формы . . . . .  $H = 335$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 10$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1586$  »

$L = 19,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |         | Нижний пояс |       | Снеговые нагрузки | Решетка |          |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------|---------|-------------|-------|-------------------|---------|----------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |         | Высота      | Стыки |                   | Ширина  | Нашпывки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Настилы |             |       |                   |         | Ширина   | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 5            | — | 15            | 30      | 24      | 15          | 6     | 0,1               | 10      | 7        | 3,5     | 3         | 2       | 10           | 15     | 1,20              | 47      |
|          |              |   | 3             | 27      | 27      |             | 46    | 0,15              | 10      | 7        | 3,5     | 4,5       | 3       |              |        | 1,20              | 48      |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 0,2               | 10      | 7        | 3,5     | 5,5       | 4       |              |        | 1,20              | 49      |
| 0,5      | 5            | — | 15            | 42      | 36      | 15          | 8     | 0,2               | 10      | 7        | 3,5     | 6         | 4       | 10           | 15     | 1,21              | 55      |
|          |              |   | 3             | 27      | 27      |             | 57    | 0,25              | 12      | 8        | 3,5     | 7         | 5       |              |        | 1,27              | 56      |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 0,3               | 14      | 8        | 3,5     | 7,5       | 6       |              |        | 1,30              | 57      |
| 0,6      | 5            | — | 20            | 30      | 32      | 15          | 10    | 0,2               | 10      | 7        | 3,5     | 6         | 4       | 12           | 16     | 1,37              | 64      |
|          |              |   | 4             | 36      | 36      |             | 09    | 0,3               | 10      | 7        | 3,5     | 8         | 6       |              |        | 1,37              | 66      |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 0,4               | 12      | 8        | 3,5     | 11        | 7       |              |        | 1,47              | 68      |
| 0,7      | 5            | — | 20            | 36      | 30      | 15          | 12    | 0,2               | 10      | 7        | 3,5     | 6         | 4       | 12           | 16     | 1,33              | 75      |
|          |              |   | 4             | 36      | 36      |             | 81    | 0,3               | 10      | 7        | 3,5     | 8,5       | 6       |              |        | 1,38              | 77      |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 0,4               | 12      | 8        | 3,5     | 11        | 7       |              |        | 1,44              | 78      |
| 0,8      | 5            | — | 20            | 46      | 37      | 16          | 13    | 0,3               | 10      | 7        | 3,5     | 8,5       | 6       | 14           | 18     | 1,40              | 83      |
|          |              |   | 4             | 36      | 36      |             | 92    | 0,4               | 12      | 8        | 3,5     | 11,5      | 8       |              |        | 1,46              | 85      |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 0,5               | 14      | 8        | 3,5     | 13        | 9       |              |        | 1,49              | 87      |
| 0,9      | 6            | — | 20            | 50      | 40      | 16          | 14    | 0,3               | 10      | 7        | 3,5     | 4,5       | 5       | 14           | 18     | 1,64              | 96      |
|          |              |   | 4             | 36      | 36      |             | 80    | 0,4               | 13      | 8        | 3,5     | 5,5       | 7       |              |        | 1,73              | 98      |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 0,5               | 13      | 8        | 3,5     | 6,5       | 8       |              |        | 1,73              | 100     |
| 1,0      | 6            | — | 20            | 58      | 48      | 17          | 15    | 0,4               | 13      | 8        | 3,5     | 5,5       | 7       | 14           | 20     | 1,77              | 106     |
|          |              |   | 4             | 36      | 36      |             | 90    | 0,5               | 13      | 8        | 3,5     | 7         | 8       |              |        | 1,77              | 108     |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 0,6               | 15      | 8        | 3,5     | 8         | 9       |              |        | 1,81              | 109     |
| 1,1      | 6            | — | 25            | 110     | 96      | 18          | 17    | 0,5               | 10      | 7        | 3,5     | 7         | 8       | 16           | 22     | 1,79              | 127     |
|          |              |   | 5             | 52      | 46      |             | 99    | 0,6               | 13      | 8        | 3,5     | 8         | 9       |              |        | 1,88              | 129     |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 0,7               | 13      | 8        | 3,5     | 9         | 10      |              |        | 1,88              | 130     |
| 1,2      | 6            | — | 25            | 120     | 106     | 20          | 19    | 0,6               | 13      | 8        | 3,5     | 8         | 10      | 16           | 24     | 1,94              | 140     |
|          |              |   | 5             | 58      | 50      |             | 107   | 0,7               | 15      | 8        | 3,5     | 9,5       | 11      |              |        | 1,98              | 142     |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 0,8               | 15      | 8        | 3,5     | 11        | 12      |              |        | 1,98              | 143     |
| 1,3      | 6            | — | 25            | 132     | 114     | 22          | 20    | 0,7               | 15      | 8        | 3,5     | 10        | 11      | 16           | 25     | 2,03              | 148     |
|          |              |   | 5             | 62      | 54      |             | 116   | 0,8               | 15      | 8        | 3,5     | 11        | 12      |              |        | 2,03              | 150     |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 0,9               | 18      | 9        | 3,5     | 11,5      | 13      |              |        | 2,12              | 151     |
| 1,5      | 7            | — | 25            | 152     | 132     | 22          | 13    | 0,8               | 18      | 9        | 3,5     | 10,5      | 13      | 18           | 26     | 2,46              | 180     |
|          |              |   | 5             | 74      | 66      |             | 135   | 0,9               | 18      | 9        | 3,5     | 11,5      | 14      |              |        | 2,46              | 182     |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 1,0               | 20      | 9        | 3,5     | 12        | 16      |              |        | 2,51              | 184     |
| 1,7      | 6            | — | 30            | 122     | 106     | 26          | 27    | 0,8               | 18      | 9        | 3,5     | 11        | 13      | 18           | —      | 2,46              | 201     |
|          |              |   | 5             | 62      | 56      |             | 152   | 0,9               | 20      | 9        | 3,5     | 12        | 15      |              |        | 2,49              | 203     |
|          |              |   |               |         |         |             |       | 1,1               | 22      | 9        | 3,5     | 14,5      | 17      |              |        | 2,53              | 206     |



Таблица 35

Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 352$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 10$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1663$  »

$L = 20,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |        | Нижний пояс |       | Системная нагрузка | Решетка |         |         |           |        | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------|--------|-------------|-------|--------------------|---------|---------|---------|-----------|--------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |        | Высота      | Стыки |                    | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |        | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Настил |             |       |                    |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В улах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 5            | — | 15            | 30      | 30     | 15          | 7     | 0,1                | 10      | 7       | 3,5     | 4         | 3      | 10           | 15     | 1,27              | 52      |
|          |              |   | 3             | 36      | 30     |             | 48    | 0,15               | 10      | 7       | 3,5     | 5         | 3      |              |        | 1,27              | 52      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,2                | 10      | 7       | 3,5     | 6         | 4      |              |        | 1,27              | 53      |
| 0,5      | 5            | — | 15            | 50      | 42     | 15          | 9     | 0,2                | 10      | 7       | 3,5     | 6,5       | 4      | 12           | 15     | 1,28              | 64      |
|          |              |   | 3             | 30      | 30     |             | 60    | 0,25               | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 5      |              |        | 1,34              | 65      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,3                | 14      | 8       | 3,5     | 9,5       | 6      |              |        | 1,38              | 66      |
| 0,6      | 5            | — | 20            | 34      | 26     | 15          | 10    | 0,2                | 10      | 7       | 3,5     | 7         | 4      | 12           | 15     | 1,44              | 68      |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 72    | 0,3                | 10      | 7       | 3,5     | 9,5       | 6      |              |        | 1,44              | 70      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4                | 12      | 8       | 3,5     | 12,5      | 8      |              |        | 1,51              | 72      |
| 0,7      | 5            | — | 20            | 42      | 34     | 15          | 12    | 0,2                | 10      | 7       | 3,5     | 7         | 5      | 12           | 17     | 1,45              | 78      |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 84    | 0,3                | 10      | 7       | 3,5     | 9,5       | 6      |              |        | 1,45              | 79      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4                | 12      | 8       | 3,5     | 13        | 8      |              |        | 1,52              | 81      |
| 0,8      | 5            | — | 20            | 52      | 42     | 17          | 14    | 0,3                | 10      | 7       | 3,5     | 10        | 6      | 14           | 20     | 1,49              | 89      |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 97    | 0,4                | 12      | 8       | 3,5     | 13        | 8      |              |        | 1,56              | 91      |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5                | 15      | 8       | 3,5     | 15        | 10     |              |        | 1,62              | 93      |
| 0,9      | 6            | — | 20            | 60      | 48     | 16          | 15    | 0,3                | 10      | 7       | 3,5     | 5         | 5      | 14           | 19     | 1,73              | 102     |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             | 85    | 0,4                | 13      | 8       | 3,5     | 7         | 7      |              |        | 1,83              | 105     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5                | 13      | 8       | 3,5     | 8         | 8      |              |        | 1,83              | 107     |
| 1,0      | 6            | — | 25            | 114     | 100    | 18          | 16    | 0,4                | 12      | 8       | 3,5     | 7         | 7      | 16           | 22     | 1,95              | 123     |
|          |              |   | 5             | 54      | 48     |             | 94    | 0,5                | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 8      |              |        | 1,95              | 125     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,6                | 13      | 8       | 3,5     | 9,5       | 10     |              |        | 1,97              | 127     |
| 1,1      | 6            | — | 25            | 126     | 110    | 19          | 18    | 0,5                | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 8      | 16           | 23     | 1,98              | 136     |
|          |              |   | 5             | 60      | 52     |             | 104   | 0,6                | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 10     |              |        | 2,00              | 139     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,7                | 15      | 8       | 3,5     | 11        | 11     |              |        | 2,05              | 143     |
| 1,2      | 6            | — | 25            | 136     | 120    | 20          | 20    | 0,5                | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 10     | 16           | 24     | 2,03              | 147     |
|          |              |   | 5             | 64      | 56     |             | 113   | 0,7                | 15      | 8       | 3,5     | 11        | 11     |              |        | 2,08              | 149     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,8                | 18      | 9       | 3,5     | 12        | 13     |              |        | 2,17              | 151     |
| 1,3      | 7            | — | 25            | 148     | 130    | 20          | 12    | 0,7                | 15      | 8       | 3,5     | 10,5      | 12     | 16           | 24     | 2,38              | 166     |
|          |              |   | 5             | 74      | 64     |             | 123   | 0,8                | 18      | 9       | 3,5     | 12        | 13     |              |        | 2,48              | 168     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,9                | 20      | 9       | 3,5     | 12,5      | 15     |              |        | 2,54              | 170     |
| 1,5      | 7            | — | 25            | 170     | 150    | 23          | 14    | 0,8                | 18      | 9       | 3,5     | 12,5      | 14     | 18           | 26     | 2,61              | 194     |
|          |              |   | 5             | 84      | 74     |             | 142   | 0,9                | 20      | 9       | 3,5     | 12,5      |        |              |        | 2,67              | 195     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,0                | 20      | 9       | 3,5     | 14        | 16     |              |        | 2,67              | 196     |
| 1,7      | 7            | — | 30            | 130     | 114    | 25          | 16    | 0,8                | 18      | 9       | 3,5     | 12,5      | 14     | 20           | —      | 2,93              | 220     |
|          |              |   | 5             | 70      | 62     |             | 160   | 0,9                | 20      | 9       | 3,5     | 13        | 15     |              |        | 2,99              | 221     |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,1                | 22      | 9       | 3,5     | 15        | 18     |              |        | 3,04              | 223     |

|     |   |   |   |    |     |     |     |     |     |     |      |     |      |    |      |      |     |
|-----|---|---|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|----|------|------|-----|
| 0,8 | 6 | — | 4 | 20 | 56  | 46  | 15  | 14  | 0,3 | 10  | 7    | 3,5 | 5,5  | 6  | 14   | 1,76 | 94  |
|     |   |   |   | 36 | 36  | 15  | 14  | 0,4 | 13  | 8   | 3,5  | 7   | 7    | 18 | 1,86 | 96   |     |
|     |   |   |   | —  | —   | —   | 0,5 | 13  | 8   | 3,5 | 8,5  | 8   | —    | 18 | 1,86 | 98   |     |
| 0,9 | 6 | — | 4 | 20 | 66  | 56  | 17  | 15  | 0,3 | 10  | 7    | 3,5 | 5,5  | 6  | 14   | 1,85 | 104 |
|     |   |   |   | 36 | 36  | 17  | 15  | 0,4 | 13  | 8   | 3,5  | 7   | 7    | 20 | 1,95 | 106  |     |
|     |   |   |   | —  | —   | —   | 0,5 | 13  | 8   | 3,5 | 8,5  | 8   | —    | 20 | 1,95 | 108  |     |
| 1,0 | 6 | — | 5 | 25 | 126 | 110 | 18  | 17  | 0,4 | 12  | 8    | 3,5 | 7,5  | 7  | 16   | 2,03 | 133 |
|     |   |   |   | 60 | 54  | 18  | 99  | 0,5 | 13  | 8   | 3,5  | 9   | 9    | 22 | 2,06 | 135  |     |
|     |   |   |   | —  | —   | —   | 0,6 | 13  | 8   | 3,5 | 10   | 10  | —    | 22 | 2,06 | 137  |     |
| 1,1 | 6 | — | 5 | 25 | 140 | 122 | 20  | 19  | 0,5 | 13  | 8    | 3,5 | 9    | 9  | 16   | 2,14 | 145 |
|     |   |   |   | 66 | 58  | 20  | 109 | 0,6 | 13  | 8   | 3,5  | 10  | 10   | 22 | 2,14 | 147  |     |
|     |   |   |   | —  | —   | —   | 0,7 | 15  | 8   | 3,5 | 12   | 12  | —    | 22 | 2,18 | 150  |     |
| 1,2 | 6 | — | 5 | 25 | 152 | 134 | 22  | 20  | 0,6 | 13  | 8    | 3,5 | 10,5 | 10 | 16   | 2,19 | 158 |
|     |   |   |   | 72 | 64  | 22  | 119 | 0,7 | 15  | 8   | 3,5  | 12  | 12   | 26 | 2,23 | 161  |     |
|     |   |   |   | —  | —   | —   | 0,8 | 18  | 9   | 3,5 | 14   | 13  | —    | 24 | 2,33 | 163  |     |
| 1,3 | 7 | — | 5 | 28 | 164 | 144 | 21  | 13  | 0,7 | 15  | 8    | 3,5 | 12   | 12 | 18   | 2,55 | 185 |
|     |   |   |   | 82 | 72  | 21  | 129 | 0,8 | 18  | 9   | 3,5  | 13  | 14   | 24 | 2,66 | 187  |     |
|     |   |   |   | —  | —   | —   | 0,9 | 20  | 9   | 3,5 | 14   | 15  | —    | 24 | 2,71 | 189  |     |
| 1,5 | 6 | — | 5 | 30 | 128 | 110 | 26  | 26  | 0,8 | 18  | 9    | 5   | 9    | 14 | 18   | 2,78 | 194 |
|     |   |   |   | 66 | 58  | 26  | 148 | 0,9 | 20  | 9   | 5    | 10  | 15   | 25 | 2,83 | 195  |     |
|     |   |   |   | —  | —   | —   | 1,0 | 22  | 9   | 5   | 11   | 17  | —    | 25 | 2,88 | 198  |     |
| 1,7 | 7 | — | 5 | 30 | 144 | 126 | 26  | 17  | 0,8 | 18  | 9    | 3,5 | 13,5 | 14 | 20   | 3,10 | 229 |
|     |   |   |   | 78 | 68  | 26  | 169 | 0,9 | 20  | 9   | 3,5  | 15  | 16   | 27 | 3,16 | 232  |     |
|     |   |   |   | —  | —   | —   | 1,1 | 22  | 9   | 3,5 | 16,5 | 18  | —    | 27 | 3,21 | 234  |     |

Таблица 36

Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 370$  см  
 Стропильный шаг . . . . .  $f = 11$  м  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1785$  м

$L = 21,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |         |    | Нижний пояс |       | Снеговая нагрузка |          |         |         |           |         | Решетка |      |        |        | Опорные углы |  | Расход материалов |  |
|----------|--------------|---|---------|----|-------------|-------|-------------------|----------|---------|---------|-----------|---------|---------|------|--------|--------|--------------|--|-------------------|--|
|          | Размеры      |   | Прогоны |    | Высота      | Стыки | Ширина            | Напильки |         | Толщина | В решетке | Гвозди  |         | Тяжи | Врубки | Дерево | Сталь        |  |                   |  |
|          | a            | b | h       | κ  |             |       |                   | Ширина   | В узлах |         |           | В узлах |         |      |        |        |              |  |                   |  |
| 0,4      | 5            | — | 15      | 42 | 34          | 15    | 7                 | 0,1      | 10      | 7       | 3,5       | 4       | 3       | 10   | 15     | 1,33   | 53           |  |                   |  |
|          |              |   | 3       | 30 | 30          | 51    | 0,15              | 10       | 7       | 3,5     | 6         | 3       | 14      | 1,33 | 54     |        |              |  |                   |  |
|          |              |   | 3       | 30 | 30          | 63    | 0,2               | 10       | 7       | 3,5     | 7,5       | 4       | 1,33    | 55   |        |        |              |  |                   |  |
| 0,5      | 5            | — | 15      | 56 | 48          | 15    | 9                 | 0,2      | 10      | 7       | 3,5       | 7,5     | 4       | 12   | 15     | 1,34   | 66           |  |                   |  |
|          |              |   | 3       | 30 | 30          | 63    | 0,25              | 12       | 8       | 3,5     | 9         | 5       | 16      | 1,41 | 67     |        |              |  |                   |  |
|          |              |   | 3       | 30 | 30          | 63    | 0,3               | 14       | 8       | 3,5     | 10,5      | 6       | 1,45    | 68   |        |        |              |  |                   |  |
| 0,6      | 5            | — | 20      | 38 | 32          | 15    | 11                | 0,2      | 10      | 7       | 3,5       | 8       | 5       | 12   | 15     | 1,52   | 74           |  |                   |  |
|          |              |   | 4       | 40 | 40          | 76    | 0,3               | 10       | 7       | 3,5     | 11        | 6       | 16      | 1,52 | 76     |        |              |  |                   |  |
|          |              |   | 4       | 40 | 40          | 76    | 0,4               | 12       | 8       | 3,5     | 13,5      | 8       | 1,59    | 78   |        |        |              |  |                   |  |
| 0,7      | 5            | — | 20      | 48 | 40          | 15    | 13                | 0,2      | 10      | 7       | 3,5       | 8       | 5       | 12   | 18     | 1,53   | 82           |  |                   |  |
|          |              |   | 4       | 40 | 40          | 89    | 0,3               | 12       | 8       | 3,5     | 11        | 7       | 18      | 1,60 | 85     |        |              |  |                   |  |
|          |              |   | 4       | 40 | 40          | 89    | 0,4               | 12       | 8       | 3,5     | 14        | 8       | 1,60    | 87   |        |        |              |  |                   |  |

Таблица 37

Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 386$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 11$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1833$  \*

$L = 22,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |        | Нижний пояс |       | Средняя нагрузка | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------|--------|-------------|-------|------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |        | Высота      | Стыки |                  | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Настыл |             |       |                  |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 5            | — | 15            | 46      | 38     | 15          | 8     | 0,1              | 10      | 7       | 3,5     | 4,5       | 3       | 10           | 15     | 1,39              | 56      |
|          |              |   | 3             | 33      | 33     |             | 53    | 0,15             | 10      | 7       | 3,5     | 6         | 4       |              |        | 1,39              | 57      |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 66    | 0,2              | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 5       |              |        | 1,47              | 58      |
| 0,5      | 5            | — | 20            | 32      | 26     | 15          | 10    | 0,2              | 10      | 7       | 3,5     | 8         | 5       | 12           | 15     | 1,58              | 70      |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 66    | 0,25             | 10      | 7       | 3,5     | 10        | 6       |              |        | 1,58              | 71      |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 66    | 0,3              | 12      | 8       | 3,5     | 11        | 6       |              |        | 1,66              | 72      |
| 0,6      | 5            | — | 20            | 42      | 34     | 15          | 11    | 0,2              | 10      | 7       | 3,5     | 8,5       | 5       | 12           | 17     | 1,59              | 78      |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 80    | 0,3              | 12      | 8       | 3,5     | 11,5      | 7       |              |        | 1,66              | 80      |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 80    | 0,4              | 12      | 8       | 3,5     | 14,5      | 8       |              |        | 1,66              | 82      |
| 0,7      | 5            | — | 20            | 54      | 44     | 15          | 13    | 0,2              | 10      | 7       | 3,5     | 9         | 5       | 14           | 19     | 1,60              | 89      |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 93    | 0,3              | 12      | 8       | 3,5     | 11,5      | 7       |              |        | 1,67              | 91      |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 93    | 0,4              | 15      | 8       | 3,5     | 16        | 9       |              |        | 1,69              | 94      |
| 0,8      | 6            | — | 20            | 60      | 48     | 15          | 14    | 0,3              | 12      | 8       | 3,5     | 6,5       | 6       | 14           | 18     | 1,96              | 106     |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 83    | 0,4              | 13      | 8       | 3,5     | 7,5       | 7       |              |        | 1,98              | 108     |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 83    | 0,5              | 15      | 8       | 3,5     | 10        | 9       |              |        | 2,03              | 111     |
| 0,9      | 7            | — | 20            | 72      | 60     | 15          | 9     | 0,3              | 10      | 7       | 3,5     | 6         | 6       | 14           | 19     | 2,16              | 120     |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 93    | 0,4              | 13      | 8       | 3,5     | 8         | 8       |              |        | 2,27              | 123     |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 93    | 0,5              | 15      | 8       | 3,5     | 9         | 9       |              |        | 2,33              | 124     |
| 1,0      | 6            | — | 25            | 142     | 124    | 19          | 18    | 0,4              | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 8       | 16           | 23     | 2,16              | 142     |
|          |              |   | 5             | 68      | 60     |             | 103   | 0,5              | 13      | 8       | 3,5     | 9,5       | 9       |              |        | 2,19              | 144     |
|          |              |   | 5             | 68      | 60     |             | 103   | 0,6              | 13      | 8       | 3,5     | 11        | 10      |              |        | 2,19              | 144     |
| 1,1      | 6            | — | 25            | 156     | 136    | 20          | 20    | 0,5              | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 9       | 16           | 24     | 2,23              | 153     |
|          |              |   | 5             | 74      | 66     |             | 114   | 0,6              | 13      | 8       | 3,5     | 11        | 10      |              |        | 2,23              | 154     |
|          |              |   | 5             | 74      | 66     |             | 114   | 0,7              | 15      | 8       | 3,5     | 8,5       | 12      |              |        | 2,39              | 155     |
| 1,2      | 7            | — | 25            | 170     | 148    | 21          | 12    | 0,6              | 15      | 8       | 3,5     | 11        | 11      | 16           | 25     | 2,64              | 175     |
|          |              |   | 5             | 84      | 74     |             | 124   | 0,7              | 18      | 9       | 3,5     | 13        | 13      |              |        | 2,76              | 178     |
|          |              |   | 5             | 84      | 74     |             | 124   | 0,8              | 20      | 9       | 3,5     | 15        | 15      |              |        | 2,82              | 181     |
| 1,3      | 7            | — | 25            | 184     | 162    | 22          | 13    | 0,7              | 18      | 9       | 3,5     | 13        | 13      | 18           | —      | 2,82              | 193     |
|          |              |   | 5             | 90      | 80     |             | 135   | 0,8              | 20      | 9       | 3,5     | 15        | 15      |              |        | 2,88              | 196     |
|          |              |   | 5             | 90      | 80     |             | 135   | 0,9              | 20      | 9       | 3,5     | 16,5      | 16      |              |        | 2,88              | 198     |
| 1,5      | 7            | — | 30            | 136     | 118    | 24          | 15    | 0,8              | 20      | 9       | 3,5     | 15        | 15      | 18           | —      | 3,22              | 210     |
|          |              |   | 5             | 74      | 64     |             | 155   | 0,9              | 20      | 9       | 3,5     | 16,5      | 16      |              |        | 3,22              | 213     |
|          |              |   | 5             | 74      | 64     |             | 155   | 1,0              | 22      | 9       | 3,5     | 17        | 18      |              |        | 3,28              | 214     |
| 1,7      | 7            | — | 30            | 154     | 134    | 26          | 17    | 0,8              | 20      | 9       | 3,5     | 15,5      | 15      | 20           | —      | 3,30              | 231     |
|          |              |   | 5             | 84      | 74     |             | 176   | 0,9              | 22      | 9       | 3,5     | 16        | 17      |              |        | 3,36              | 233     |
|          |              |   | 5             | 84      | 74     |             | 176   | 1,1              | 24      | 9       | 3,5     | 15        | 20      |              |        | 3,53              | 237     |

Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 404$  см  
 Стрелка подъема . . . . .  $f = 12$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1512$  »

$L = 23,5$  м

| Нагрузка | Верхний пояс |     |               |         |        | Нижний пояс |       | Снеговая нагрузка | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|-----|---------------|---------|--------|-------------|-------|-------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |     |               | Гвозди  |        | Высота      | Стыки |                   | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | $a$          | $b$ | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Настил |             |       |                   |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В углах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 5            | —   | 15            | 54      | 46     | 15          | 8     | 0,1               | 10      | 7       | 3,5     | 5         | 3       | 10           | 15     | 1,46              | 58      |
|          |              |     | 3             | 33      | 33     |             |       | 0,15              | 10      | 7       | 3,5     | 7         | 4       |              |        | 1,46              | 59      |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 0,2               | 12      | 8       | 3,5     | 9         | 5       |              |        | 1,53              | 61      |
| 0,5      | 5            | —   | 20            | 38      | 30     | 15          | 10    | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 9         | 5       | 12           | 15     | 1,65              | 72      |
|          |              |     | 4             | 44      | 44     |             |       | 0,25              | 12      | 8       | 3,5     | 11,5      | 6       |              |        | 1,73              | 73      |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 13,5      | 7       |              |        | 1,73              | 75      |
| 0,6      | 5            | —   | 20            | 50      | 40     | 15          | 12    | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 9         | 5       | 12           | 17     | 1,66              | 81      |
|          |              |     | 4             | 44      | 44     |             |       | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 13,5      | 7       |              |        | 1,74              | 85      |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 0,4               | 14      | 8       | 3,5     | 18        | 9       |              |        | 1,78              | 83      |
| 0,7      | 6            | —   | 20            | 58      | 48     | 15          | 13    | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 5         | 4       | 14           | 17     | 1,96              | 99      |
|          |              |     | 4             | 44      | 44     |             |       | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 6,5       | 6       |              |        | 2,04              | 102     |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 0,4               | 13      | 8       | 3,5     | 8,5       | 7       |              |        | 2,07              | 104     |
| 0,8      | 6            | —   | 20            | 70      | 58     | 15          | 15    | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 7         | 6       | 14           | 19     | 2,05              | 113     |
|          |              |     | 4             | 44      | 44     |             |       | 0,4               | 13      | 8       | 3,5     | 9         | 8       |              |        | 2,08              | 116     |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 0,5               | 15      | 8       | 3,5     | 12        | 9       |              |        | 2,13              | 119     |
| 0,9      | 6            | —   | 25            | 140     | 124    | 18          | 17    | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 7         | 6       | 16           | 22     | 2,22              | 135     |
|          |              |     | 5             | 66      | 58     |             |       | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 9         | 8       |              |        | 2,22              | 138     |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 0,5               | 13      | 8       | 5       | 7         | 9       |              |        | 2,35              | 139     |
| 1,0      | 6            | —   | 25            | 156     | 138    | 20          | 19    | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 9         | 8       | 16           | 24     | 2,30              | 150     |
|          |              |     | 5             | 74      | 66     |             |       | 0,5               | 13      | 8       | 5       | 7         | 9       |              |        | 2,44              | 151     |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 0,6               | 15      | 8       | 5       | 8,5       | 11      |              |        | 2,49              | 154     |
| 1,1      | 7            | —   | 25            | 172     | 150    | 20          | 12    | 0,5               | 13      | 8       | 3,5     | 11        | 10      | 16           | 24     | 2,65              | 171     |
|          |              |     | 5             | 82      | 72     |             |       | 0,6               | 15      | 8       | 3,5     | 12,5      | 12      |              |        | 2,71              | 174     |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 0,7               | 18      | 9       | 3,5     | 14        | 13      |              |        | 2,84              | 176     |
| 1,2      | 7            | —   | 25            | 188     | 166    | 21          | 13    | 0,6               | 15      | 8       | 3,5     | 13        | 12      | 18           | 26     | 2,78              | 193     |
|          |              |     | 5             | 92      | 82     |             |       | 0,7               | 18      | 9       | 3,5     | 14        | 13      |              |        | 2,90              | 195     |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 0,8               | 20      | 9       | 3,5     | 16        | 15      |              |        | 2,96              | 197     |
| 1,3      | 6            | —   | 30            | 132     | 114    | 25          | 24    | 0,7               | 18      | 9       | 5       | 9,5       | 13      | 18           | —      | 3,00              | 192     |
|          |              |     | 5             | 68      | 60     |             |       | 0,8               | 20      | 9       | 5       | 11        | 15      |              |        | 3,05              | 195     |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 0,9               | 20      | 9       | 5       | 12        | 16      |              |        | 3,05              | 197     |
| 1,5      | 7            | —   | 30            | 152     | 132    | 25          | 16    | 0,8               | 20      | 9       | 3,5     | 16,5      | 16      | 20           | —      | 3,42              | 234     |
|          |              |     | 5             | 82      | 72     |             |       | 0,9               | 22      | 9       | 5       | 10,5      | 17      |              |        | 3,60              | 230     |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 1,0               | 22      | 9       | 5       | 12        | 18      |              |        | 3,60              | 233     |
| 1,7      | 7            | 7   | 25            | 252     | 224    | 21          | 12    | 0,8               | 12      | —       | —       | 4         | 16      | 16           | 24     | 3,94              | 259     |
|          |              |     | 5             | 160     | 142    |             |       | 0,9               | 14      | —       | —       | 4         | 18      |              |        | 4,07              | 260     |
|          |              |     |               |         |        |             |       | 1,1               | 14      | —       | —       | 5         | 20      |              |        | 4,07              | 264     |

Таблица 39

Число панелей . . . . . 12  
 Высота Фермы . . . . .  $H = 420$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 12$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1995$  »

$L = 24,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |        | Нижний пояс |       | Снеговая нагрузка | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |       |
|----------|--------------|---|---------------|---------|--------|-------------|-------|-------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|-------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |        | Высота      | Стыки |                   | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Настил |             |       |                   |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |       |
| 0,4      | 5            | — | 15            | 38      | 32     | 15          | 8     | 0,1               | 10      | 7       | 3,5     | 4         | 2       | 10           | 15     | 1,60              | 58    |
|          |              |   | 3             | 30      | 30     |             |       | 0,15              | 10      | 7       | 3,5     | 6         | 3       |              |        | 1,60              | 60    |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             |       | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 8         | 4       |              |        | 1,60              | 62    |
| 0,5      | 5            | — | 20            | 26      | 20     | 15          | 10    | 0,2               | 10      | 7       | 3,5     | 8         | 4       | 12           | 15     | 1,81              | 73    |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             |       | 0,25              | 12      | 8       | 3,5     | 8,5       | 5       |              |        | 1,90              | 74    |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             |       | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 12,5      | 6       |              |        | 1,90              | 77    |
| 0,6      | 5            | — | 20            | 36      | 28     | 15          | 13    | 0,2               | 12      | 8       | 3,5     | 9,5       | 5       | 12           | 18     | 1,91              | 85    |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             |       | 0,3               | 12      | 8       | 2,5     | 12,5      | 6       |              |        | 1,91              | 88    |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             |       | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 17        | 8       |              |        | 1,91              | 92    |
| 0,7      | 5            | — | 20            | 46      | 38     | 18          | 15    | 0,2               | 12      | 8       | 3,5     | 8,5       | 4       | 14           | 21     | 2,00              | 98    |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             |       | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 13        | 6       |              |        | 2,00              | 102   |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             |       | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 17        | 8       |              |        | 2,00              | 106   |
| 0,8      | 6            | — | 20            | 54      | 44     | 17          | 16    | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 6         | 5       | 14           | 20     | 2,29              | 121   |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             |       | 0,4               | 13      | 8       | 3,5     | 8         | 7       |              |        | 2,32              | 125   |
|          |              |   | 4             | 36      | 36     |             |       | 0,5               | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 8       |              |        | 2,32              | 128   |
| 0,9      | 6            | — | 25            | 106     | 94     | 19          | 18    | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 7         | 6       | 16           | 23     | 2,45              | 140   |
|          |              |   | 5             | 50      | 44     |             |       | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 7       |              |        | 2,45              | 142   |
|          |              |   | 5             | 50      | 44     |             |       | 0,5               | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 9       |              |        | 2,49              | 146   |
| 1,0      | 6            | — | 25            | 118     | 104    | 22          | 20    | 0,4               | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 7       | 16           | 25     | 2,55              | 153   |
|          |              |   | 5             | 56      | 50     |             |       | 0,5               | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 9       |              |        | 2,53              | 157   |
|          |              |   | 5             | 56      | 50     |             |       | 0,6               | 13      | 8       | 5       | 7         | 10      |              |        | 2,71              | 159   |
| 1,1      | 6            | — | 25            | 130     | 114    | 23          | 22    | 0,5               | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 9       | 16           | —      | 2,63              | 175   |
|          |              |   | 5             | 62      | 54     |             |       | 0,6               | 13      | 8       | 5       | 7         | 10      |              |        | 2,76              | 175   |
|          |              |   | 5             | 62      | 54     |             |       | 0,7               | 15      | 8       | 5       | 8,5       | 12      |              |        | 2,83              | 179   |
| 1,2      | 7            | — | 25            | 142     | 126    | 22          | 14    | 0,6               | 13      | 8       | 3,5     | 11        | 10      | 18           | 26     | 3,00              | 196   |
|          |              |   | 5             | 70      | 62     |             |       | 0,7               | 15      | 8       | 3,5     | 13        | 12      |              |        | 3,08              | 200   |
|          |              |   | 5             | 70      | 62     |             |       | 0,8               | 18      | 9       | 3,5     | 15,5      | 14      |              |        | 3,23              | 204   |
| 1,3      | 7            | — | 25            | 154     | 136    | 24          | 15    | 0,7               | 15      | 8       | 3,5     | 13        | 12      | 18           | —      | 3,19              | 215   |
|          |              |   | 5             | 76      | 66     |             |       | 0,8               | 18      | 9       | 3,5     | 15        | 14      |              |        | 3,34              | 220   |
|          |              |   | 5             | 76      | 66     |             |       | 0,9               | 20      | 9       | 3,5     | 16        | 16      |              |        | 3,41              | 223   |
| 1,5      | 7            | — | 30            | 120     | 104    | 26          | 17    | 0,8               | 18      | 9       | 3,5     | 15        | 14      | 20           | —      | 3,69              | 240   |
|          |              |   | 5             | 66      | 56     |             |       | 0,9               | 20      | 9       | 3,5     | 16        | 16      |              |        | 3,76              | 243   |
|          |              |   | 5             | 66      | 56     |             |       | 1,0               | 22      | 9       | 5       | 11        | 18      |              |        | 3,99              | 243   |
| 1,7      | 6            | 6 | 25            | 174     | 148    | 24          | 23    | 0,8               | 13      | —       | —       | 6         | 14      | 16           | —      | 3,85              | 240   |
|          |              |   | 5             | 110     | 94     |             |       | 0,9               | 13      | —       | —       | 6         | 16      |              |        | 3,85              | 241   |
|          |              |   | 5             | 110     | 94     |             |       | 1,1               | 14      | —       | —       | 8         | 20      |              |        | 3,91              | 248   |

|     |   |   |    |     |     |     |     |     |    |   |     |      |    |      |      |      |     |
|-----|---|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|---|-----|------|----|------|------|------|-----|
| 0,8 | 6 | — | 30 | 60  | 50  | 18  | 17  | 0,3 | 12 | 8 | 3,5 | 6,5  | 5  | 14   | 21   | 2,42 | 122 |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,4 | 13 | 8 | 3,5 | 9    | 7  | 2,46 |      | 127  |     |
| 0,9 | 6 | — | 4  | 36  | 36  | 18  | 95  | 0,5 | 15 | 8 | 3,5 | 11   | 9  | 20   | 2,52 | 131  |     |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,3 | 12 | 8 | 3,5 | 7    | 6  | 2,59 |      |      | 144 |
| 0,9 | 6 | — | 25 | 118 | 104 | 20  | 18  | 0,4 | 12 | 8 | 3,5 | 7    | 6  | 16   | 23   | 2,59 | 144 |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,4 | 12 | 8 | 3,5 | 8,5  | 7  | 2,59 |      | 147  |     |
| 1,0 | 6 | — | 5  | 56  | 50  | 107 | 107 | 0,5 | 13 | 8 | 3,5 | 11   | 9  | 22   | 2,63 | 152  |     |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,4 | 12 | 8 | 3,5 | 8,5  | 7  | 2,66 |      |      | 159 |
| 1,0 | 6 | — | 25 | 132 | 116 | 22  | 20  | 0,5 | 13 | 8 | 3,5 | 10,5 | 9  | 16   | 26   | 2,72 | 163 |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,6 | 15 | 8 | 5   | 8,5  | 11 | 2,92 |      | 164  |     |
| 1,1 | 6 | — | 5  | 62  | 56  | 119 | 119 | 0,6 | 15 | 8 | 5   | 10   | 12 | 24   | 3,01 | 180  |     |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,5 | 13 | 8 | 3,5 | 11   | 9  |      | 2,81 | 166  |     |
| 1,1 | 6 | — | 25 | 144 | 128 | 24  | 23  | 0,6 | 15 | 8 | 5   | 8,5  | 11 | 18   | 3,01 | 187  |     |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,7 | 15 | 8 | 5   | 10   | 12 |      | 3,01 | 190  |     |
| 1,2 | 7 | — | 25 | 158 | 140 | 23  | 14  | 0,6 | 15 | 8 | 3,5 | 13   | 11 | 18   | 3,25 | 207  |     |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,7 | 18 | 9 | 3,5 | 14   | 13 |      | 3,41 | 210  |     |
| 1,3 | 7 | — | 5  | 78  | 68  | 143 | 143 | 0,8 | 20 | 9 | 5   | 10   | 15 | 24   | 3,63 | 214  |     |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,7 | 18 | 9 | 3,5 | 14,5 | 13 |      | 3,75 | 219  |     |
| 1,3 | 7 | — | 30 | 114 | 100 | 24  | 15  | 0,8 | 18 | 9 | 3,5 | 16,5 | 14 | 25   | 3,75 | 222  |     |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,9 | 20 | 9 | 5   | 10,5 | 16 |      | 3,98 | 220  |     |
| 1,5 | 6 | — | 5  | 62  | 54  | 155 | 155 | 0,9 | 20 | 9 | 5   | 10,5 | 16 | 25   | 4,00 | 220  |     |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,8 | 14 | — | —   | 7    | 16 |      | 4,00 | 240  |     |
| 1,5 | 6 | 6 | 25 | 198 | 174 | 22  | 21  | 0,9 | 14 | — | —   | 7    | 18 | 26   | 4,00 | 242  |     |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 1,0 | 14 | — | —   | 8    | 30 |      | 4,00 | 246  |     |
| 1,5 | 7 | 7 | 25 | 224 | 196 | 22  | 13  | 0,8 | 12 | — | —   | 4    | 14 | 18   | 4,53 | 263  |     |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 0,9 | 14 | — | —   | 4    | 16 |      | 4,68 | 265  |     |
| 1,5 | 7 | 7 | 5  | 142 | 124 | 0   | 0   | 1,1 | 14 | — | —   | 5    | 20 | 24   | 4,68 | 262  |     |
|     |   |   |    |     |     |     |     | 1,1 | 14 | — | —   | 5    | 20 |      | 4,68 | 262  |     |

Таблица 40

Число панелей . . . . .  $N = 12$   
 Высота фермы . . . . .  $H = 488$  см  
 Стропт. подпояс . . . . .  $f = 13$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2073$  »

$L = 25,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |         |         | Нижний пояс |       | Снеговая нагрузка |            |        |        | Решетка |      |        |        | Опорные узлы |           | Расход материала |      |
|----------|--------------|---|---------|---------|-------------|-------|-------------------|------------|--------|--------|---------|------|--------|--------|--------------|-----------|------------------|------|
|          | Размеры      |   | Прогоны |         | Высота      | Стыки | Ширина            | Напильники |        | Гвозди |         | Тяжи | Врубки | Дерево | Сталь 3      |           |                  |      |
| a        | b            | n | m       | Толщина |             |       |                   | Настил     | Ширина | Ширина | Толщина |      |        |        |              | В решетке | В узлах          | Тяжи |
| 0,4      | Б            | — | 3       | 15      | 44          | 36    | 15                | 6          | 0,1    | 10     | 7       | 8,5  | 4,5    | 2      | 12           | 15        | 1,68             | 64   |
|          |              |   |         | 30      | 30          | 15    | 6                 | 0,15       | 10     | 7      | 8,5     | 6,5  | 3      | 14     | 15           | 1,68      | 66               |      |
|          |              |   |         | 30      | 30          | 15    | 91                | 0,2        | 10     | 7      | 3,5     | 8,5  | 4      | 14     | 15           | 1,68      | 68               |      |
| 0,5      | Б            | — | 4       | 20      | 30          | 24    | 15                | 11         | 0,2    | 10     | 7       | 3,5  | 8,5    | 4      | 12           | 15        | 1,89             | 78   |
|          |              |   |         | 40      | 40          | 40    | 15                | 0,25       | 12     | 8      | 3,5     | 10,5 | 5      | 16     | 15           | 1,98      | 80               |      |
|          |              |   |         | 40      | 40          | 40    | 77                | 0,3        | 12     | 8      | 3,5     | 12,5 | 6      | 16     | 15           | 1,98      | 82               |      |
| 0,6      | Б            | — | 4       | 20      | 40          | 32    | 15                | 13         | 0,2    | 12     | 8       | 3,5  | 9,5    | 5      | 12           | 18        | 1,99             | 87   |
|          |              |   |         | 40      | 40          | 40    | 15                | 0,3        | 12     | 8      | 3,5     | 12,5 | 6      | 18     | 18           | 1,99      | 89               |      |
|          |              |   |         | 40      | 40          | 40    | 91                | 0,4        | 14     | 8      | 3,5     | 17,5 | 9      | 18     | 18           | 2,05      | 95               |      |
| 0,7      | Б            | — | 4       | 20      | 48          | 40    | 16                | 14         | 0,2    | 10     | 7       | 3,5  | 4,5    | 4      | 14           | 18        | 2,23             | 104  |
|          |              |   |         | 36      | 36          | 16    | 14                | 0,3        | 12     | 8      | 3,5     | 6,5  | 5      | 30     | 18           | 2,34      | 107              |      |
|          |              |   |         | 36      | 36          | 16    | 83                | 0,4        | 13     | 8      | 3,5     | 9    | 7      | 30     | 18           | 2,37      | 112              |      |



СЕРМЕНТНЫЕ ФОРМЫ

Высота панелей . . . . . H = 455 см  
 Высота фермы . . . . . f = 13 м  
 Пролет. полъём . . . . . R = 2158 м  
 Радиус кривизны . . . . .

L = 26,5 м

Таблица 41

| Нагрузка | Верхний пояс |   |         | Нижний пояс |        |       | Решётка           |        |          |    |        | Опорные узлы |         | Расход материала |      |        |        |       |
|----------|--------------|---|---------|-------------|--------|-------|-------------------|--------|----------|----|--------|--------------|---------|------------------|------|--------|--------|-------|
|          | Размеры      |   | Прогоны | Прозлы      | Высота | Стыки | Снеговая нагрузка | Ширина | Напильки |    | Прозлы | В решетке    | В узлах |                  | Тяжи | Врубля | Дерево | Сталь |
|          | a            | b |         |             |        |       |                   |        | h        | п  |        |              |         |                  |      |        |        |       |
| 0,4      | 5            | — | 15      | 48          | 40     | 33    | 15                | 0,1    | 0,15     | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 5                | 2    | 12     | 13,85  | 71    |
|          |              |   | 3       | 33          | 33     |       | 63                | 0,2    | 0,2      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 7                | 4    | 14     | 1,85   | 73    |
|          |              |   | 5       | 48          | 40     | 33    | 15                | 0,2    | 0,2      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 9                | 5    | 14     | 1,85   | 75    |
| 0,5      | 5            | — | 20      | 34          | 26     | 44    | 15                | 0,2    | 0,25     | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 9                | 5    | 14     | 2,07   | 87    |
|          |              |   | 4       | 44          | 44     |       | 80                | 0,3    | 0,3      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 14               | 7    | 16     | 2,07   | 88    |
|          |              |   | 5       | 34          | 26     | 44    | 11                | 0,2    | 0,25     | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 11,5             | 6    | 16     | 2,07   | 89    |
| 0,6      | 5            | — | 20      | 44          | 36     | 44    | 14                | 0,2    | 0,3      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 10,5             | 5    | 14     | 2,12   | 100   |
|          |              |   | 4       | 44          | 44     |       | 136               | 0,4    | 0,4      | 16 | 16     | 9            | 3,5     | 14               | 7    | 18     | 2,12   | 104   |
|          |              |   | 5       | 44          | 44     |       | 14                | 0,2    | 0,3      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 14               | 7    | 18     | 2,28   | 108   |
| 0,7      | 6            | — | 20      | 54          | 44     | 40    | 16                | 0,2    | 0,3      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 5                | 4    | 14     | 2,45   | 119   |
|          |              |   | 4       | 40          | 40     |       | 15                | 0,3    | 0,3      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 7,5              | 6    | 20     | 2,45   | 124   |
|          |              |   | 6       | 54          | 44     | 40    | 16                | 0,4    | 0,4      | 18 | 18     | 8            | 3,5     | 10               | 7    | 19     | 2,49   | 128   |
| 0,8      | 6            | — | 25      | 110         | 98     | 46    | 18                | 0,3    | 0,3      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 8                | 6    | 14     | 2,63   | 145   |
|          |              |   | 5       | 52          | 46     |       | 17                | 0,4    | 0,4      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 10               | 7    | 22     | 2,63   | 148   |
|          |              |   | 6       | 110         | 98     | 46    | 17                | 0,5    | 0,5      | 13 | 13     | 8            | 5       | 7,5              | 9    | 22     | 2,81   | 149   |
| 0,9      | 6            | — | 25      | 124         | 110    | 52    | 20                | 0,3    | 0,3      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 8,5              | 6    | 16     | 2,73   | 168   |
|          |              |   | 5       | 60          | 52     |       | 19                | 0,4    | 0,4      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 10               | 7    | 22     | 2,73   | 168   |
|          |              |   | 6       | 124         | 110    | 52    | 20                | 0,5    | 0,5      | 13 | 13     | 8            | 5       | 7,5              | 9    | 24     | 2,91   | 167   |
| 1,0      | 6            | — | 25      | 138         | 122    | 58    | 23                | 0,4    | 0,4      | 12 | 12     | 8            | 3,5     | 10               | 7    | 16     | 2,83   | 184   |
|          |              |   | 5       | 66          | 58     |       | 21                | 0,5    | 0,5      | 13 | 13     | 8            | 5       | 7,5              | 9    | 24     | 3,01   | 184   |
|          |              |   | 6       | 138         | 122    | 58    | 23                | 0,6    | 0,6      | 15 | 15     | 8            | 5       | 9                | 11   | 24     | 3,08   | 189   |
| 1,1      | 7            | — | 25      | 154         | 134    | 66    | 22                | 0,5    | 0,5      | 13 | 13     | 8            | 3,5     | 12               | 10   | 18     | 3,26   | 215   |
|          |              |   | 5       | 76          | 66     |       | 13                | 0,6    | 0,6      | 15 | 15     | 8            | 3,5     | 14               | 12   | 24     | 3,35   | 219   |
|          |              |   | 7       | 154         | 134    | 66    | 22                | 0,7    | 0,7      | 18 | 18     | 9            | 3,5     | 16               | 14   | 24     | 3,50   | 223   |
| 1,2      | 7            | — | 25      | 168         | 146    | 72    | 24                | 0,6    | 0,6      | 15 | 15     | 8            | 3,5     | 14               | 12   | 18     | 3,47   | 238   |
|          |              |   | 5       | 82          | 72     |       | 15                | 0,7    | 0,7      | 18 | 18     | 9            | 3,5     | 16               | 14   | 25     | 3,63   | 242   |
|          |              |   | 7       | 168         | 146    | 72    | 24                | 0,8    | 0,8      | 20 | 20     | 9            | 5       | 11               | 16   | 25     | 3,88   | 241   |
| 1,3      | 7            | — | 30      | 180         | 104    | 56    | 25                | 0,7    | 0,7      | 18 | 18     | 9            | 3,5     | 16               | 14   | 18     | 3,96   | 250   |
|          |              |   | 5       | 66          | 56     |       | 16                | 0,8    | 0,8      | 20 | 20     | 9            | 5       | 11               | 16   | 25     | 4,20   | 248   |
|          |              |   | 7       | 180         | 104    | 56    | 25                | 0,9    | 0,9      | 22 | 22     | 9            | 5       | 11,5             | 17   | 25     | 4,28   | 251   |
| 1,5      | 6            | 6 | 25      | 206         | 180    | 114   | 23                | 0,8    | 0,8      | 14 | 14     | —            | —       | 7                | 16   | 16     | 4,24   | 269   |
|          |              |   | 5       | 132         | 114    |       | 21                | 0,9    | 0,9      | 14 | 14     | —            | —       | 8                | 18   | 24     | 4,24   | 274   |
|          |              |   | 6       | 206         | 180    | 114   | 23                | 1,0    | 1,0      | 15 | 15     | —            | —       | 9                | 20   | 24     | 4,31   | 280   |
| 1,7      | 7            | 7 | 25      | 234         | 206    | 130   | 23                | 0,8    | 0,8      | 14 | 14     | —            | —       | 4                | 16   | 18     | 4,98   | 319   |
|          |              |   | 5       | 150         | 130    |       | 14                | 0,9    | 0,9      | 14 | 14     | —            | —       | 5                | 18   | 24     | 4,98   | 323   |
|          |              |   | 7       | 234         | 206    | 130   | 23                | 1,1    | 1,1      | 14 | 14     | —            | —       | 6                | 20   | 24     | 4,98   | 327   |

Число панелей . . . . . 12  
 Высота фермы . . . . .  $H = 472$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 14$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2\ 238$  »

$L = 27,5$  м

| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |        | Нижний пояс |       | Снеговая нагрузка | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |       |
|----------|--------------|---|---------------|---------|--------|-------------|-------|-------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|-------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |        | Высота      | Стыки |                   | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Настил |             |       |                   |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В углах |              |        |                   |       |
| 0,4      | 5            | — | 20            | 26      | 22     | 15          | 9     | 0,1               | 12      | 8       | 3,5     | 5,5       | 3       | 12           | 15     | 2,13              | 76    |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 66    | 0,15              | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 4       |              |        | 2,13              | 78    |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,2               | 12      | 8       | 3,5     | 10        | 5       |              |        | 2,13              | 80    |
| 0,5      | 5            | — | 20            | 40      | 32     | 15          | 12    | 0,2               | 12      | 8       | 3,5     | 10,5      | 5       | 12           | 17     | 2,15              | 94    |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 32    | 0,25              | 12      | 8       | 3,5     | 13        | 6       |              |        | 2,15              | 96    |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 15,5      | 7       |              |        | 2,15              | 99    |
| 0,6      | 5            | — | 20            | 52      | 42     | 17          | 14    | 0,2               | 12      | 8       | 3,5     | 11,5      | 5       | 14           | 20     | 2,20              | 106   |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 99    | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 15,5      | 7       |              |        | 2,20              | 110   |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4               | 16      | 9       | 3,5     | 19        | 10      |              |        | 2,37              | 115   |
| 0,7      | 6            | — | 20            | 62      | 52     | 17          | 16    | 0,2               | 12      | 8       | 3,5     | 5         | 5       | 14           | 20     | 2,58              | 129   |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 90    | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 6       |              |        | 2,58              | 133   |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,4               | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 8       |              |        | 2,62              | 138   |
| 0,8      | 6            | — | 25            | 122     | 108    | 19          | 18    | 0,3               | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 6       | 16           | 22     | 2,77              | 157   |
|          |              |   | 5             | 52      | 50     |             | 103   | 0,4               | 13      | 8       | 3,5     | 9,5       | 8       |              |        | 2,81              | 161   |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5               | 15      | 8       | 5       | 8         | 10      |              |        | 3,2               | 164   |
| 0,9      | 6            | — | 25            | 136     | 122    | 22          | 20    | 0,3               | 13      | 8       | 3,5     | 8         | 7       | 16           | 25     | 2,91              | 171   |
|          |              |   | 5             | 64      | 58     |             | 115   | 0,4               | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 8       |              |        | 2,91              | 175   |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,5               | 15      | 8       | 5       | 8         | 10      |              |        | 3,13              | 177   |
| 1,0      | 7            | — | 25            | 152     | 134    | 21          | 13    | 0,4               | 12      | 8       | 5       | 6         | 8       | 18           | 25     | 3,44              | 205   |
|          |              |   | 5             | 74      | 66     |             | 128   | 0,5               | 14      | 8       | 5       | 7         | 10      |              |        | 3,52              | 209   |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,6               | 15      | 8       | 5       | 8,5       | 12      |              |        | 3,56              | 213   |
| 1,1      | 7            | — | 25            | 168     | 148    | 22          | 14    | 0,5               | 14      | 8       | 5       | 7         | 10      | 18           | —      | 3,57              | 218   |
|          |              |   | 5             | 82      | 74     |             | 141   | 0,6               | 15      | 8       | 5       | 8,5       | 12      |              |        | 3,61              | 222   |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,7               | 18      | 9       | 5       | 10        | 14      |              |        | 3,80              | 227   |
| 1,2      | 7            | — | 30            | 122     | 108    | 24          | 15    | 0,6               | 15      | 8       | 5       | 8,5       | 12      | 18           | —      | 3,92              | 234   |
|          |              |   | 5             | 68      | 58     |             | 154   | 0,7               | 18      | 9       | 5       | 10        | 14      |              |        | 4,09              | 239   |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,8               | 20      | 9       | 5       | 12        | 16      |              |        | 4,17              | 243   |
| 1,3      | 7            | — | 30            | 132     | 118    | 26          | 16    | 0,7               | 18      | 9       | 5       | 10        | 14      | 20           | —      | 4,30              | 260   |
|          |              |   | 5             | 72      | 64     |             | 166   | 0,8               | 20      | 9       | 5       | 11,5      | 16      |              |        | 4,39              | 264   |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 0,9               | 22      | 9       | 5       | 13        | 18      |              |        | 4,47              | 268   |
| 1,5      | 6            | 6 | 25            | 228     | 200    | 24          | 22    | 0,8               | 14      | —       | —       | 8         | 18      | 18           | —      | 4,48              | 287   |
|          |              |   | 5             | 144     | 126    |             | 0     | 0,9               | 15      | —       | —       | 9         | 18      |              |        | 4,55              | 291   |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,0               | 15      | —       | —       | 10        | 20      |              |        | 4,55              | 294   |
| 1,7      | 7            | 7 | 25            | 260     | 228    | 23          | 14    | 0,8               | 14      | —       | —       | 5         | 16      | 18           | —      | 5,15              | 336   |
|          |              |   | 5             | 164     | 144    |             | 0     | 0,9               | 14      | —       | —       | 5         | 18      |              |        | 5,15              | 338   |
|          |              |   |               |         |        |             |       | 1,1               | 15      | —       | —       | 6         | 22      |              |        | 5,15              | 344   |

Число панелей . . . . . 12  
 Высота фермы . . . . .  $H = 489$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 14$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2322$  »

$L = 28,5$  м

Таблица 43



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |        | Нижний пояс |       | Средняя нагрузка | Решетка |          |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------|--------|-------------|-------|------------------|---------|----------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |        | Высота      | Стыки |                  | Ширина  | Напильки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Настил |             |       |                  |         | Ширина   | Толщина | В решетке | В углах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 5            | — | 10            | 28      | 24     | 15          | 10    | 0,1              | 12      | 8        | 3,5     | 5         | 3       | 12           | 15     | 2,21              | 78      |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 68    | 0,15             | 12      | 8        | 3,5     | 8         | 4       |              |        | 2,21              | 81      |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 68    | 0,2              | 12      | 8        | 3,5     | 10        | 5       |              |        | 2,21              | 83      |
| 0,5      | 5            | — | 20            | 42      | 34     | 15          | 12    | 0,2              | 12      | 8        | 3,5     | 10        | 5       | 12           | 18     | 2,22              | 94      |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 85    | 0,25             | 12      | 8        | 3,5     | 13        | 6       |              |        | 2,22              | 97      |
|          |              |   | 4             | 44      | 44     |             | 85    | 0,3              | 13      | 8        | 3,5     | 16,5      | 7       |              |        | 2,25              | 100     |
| 0,6      | 6            | — | 20            | 54      | 44     | 15          | 14    | 0,2              | 12      | 8        | 3,5     | 6,5       | 5       | 14           | 17     | 2,60              | 119     |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 80    | 0,3              | 12      | 8        | 3,5     | 8,5       | 6       |              |        | 2,60              | 122     |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 80    | 0,4              | 13      | 8        | 5       | 8         | 8       |              |        | 2,79              | 126     |
| 0,7      | 6            | — | 20            | 64      | 56     | 17          | 16    | 0,2              | 12      | 8        | 3,5     | 5,5       | 5       | 14           | 20     | 2,67              | 131     |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 93    | 0,3              | 12      | 8        | 3,5     | 8,5       | 6       |              |        | 2,67              | 136     |
|          |              |   | 4             | 40      | 40     |             | 93    | 0,4              | 13      | 8        | 5       | 7,5       | 8       |              |        | 2,86              | 138     |
| 0,8      | 6            | — | 25            | 134     | 118    | 19          | 18    | 0,3              | 12      | 8        | 3,5     | 8,5       | 6       | 16           | 23     | 2,86              | 163     |
|          |              |   | 5             | 64      | 56     |             | 106   | 0,4              | 13      | 8        | 5       | 8         | 8       |              |        | 2,96              | 166     |
|          |              |   | 5             | 64      | 56     |             | 106   | 0,5              | 15      | 8        | 5       | 9,5       | 10      |              |        | 3,04              | 170     |
| 0,9      | 6            | — | 25            | 150     | 132    | 22          | 21    | 0,3              | 13      | 8        | 5       | 6,5       | 7       | 16           | 26     | 3,18              | 182     |
|          |              |   | 5             | 72      | 64     |             | 120   | 0,4              | 13      | 8        | 5       | 7,5       | 8       |              |        | 3,18              | 185     |
|          |              |   | 5             | 72      | 64     |             | 120   | 0,5              | 15      | 8        | 5       | 9,5       | 10      |              |        | 3,25              | 190     |
| 1,0      | 7            | — | 25            | 168     | 146    | 22          | 13    | 0,4              | 13      | 8        | 5       | 6,5       | 8       | 18           | 25     | 3,65              | 211     |
|          |              |   | 5             | 82      | 72     |             | 133   | 0,5              | 15      | 8        | 5       | 8         | 10      |              |        | 3,73              | 215     |
|          |              |   | 5             | 82      | 72     |             | 133   | 0,6              | 15      | 8        | 5       | 9,5       | 12      |              |        | 3,73              | 219     |
| 1,1      | 7            | — | 25            | 184     | 162    | 23          | 14    | 0,5              | 15      | 8        | 5       | 8         | 10      | 18           | —      | 3,78              | 231     |
|          |              |   | 5             | 90      | 80     |             | 147   | 0,6              | 15      | 8        | 5       | 9,5       | 12      |              |        | 3,78              | 235     |
|          |              |   | 5             | 90      | 80     |             | 147   | 0,7              | 18      | 9        | 5       | 11        | 14      |              |        | 3,98              | 239     |
| 1,2      | 7            | — | 30            | 136     | 120    | 25          | 16    | 0,6              | 15      | 8        | 5       | 9,5       | 12      | 18           | —      | 4,22              | 251     |
|          |              |   | 5             | 74      | 64     |             | 160   | 0,7              | 18      | 9        | 5       | 11        | 14      |              |        | 4,41              | 255     |
|          |              |   | 5             | 74      | 64     |             | 160   | 0,8              | 22      | 9        | 5       | 13        | 17      |              |        | 4,59              | 261     |
| 1,3      | 7            | — | 30            | 148     | 152    | 26          | 17    | 0,7              | 18      | 9        | 5       | 11        | 14      | 20           | —      | 4,47              | 282     |
|          |              |   | 5             | 80      | 82     |             | 173   | 0,8              | 22      | 9        | 5       | 12,5      | 17      |              |        | 4,64              | 288     |
|          |              |   | 5             | 80      | 82     |             | 173   | 0,9              | 22      | 9        | 5       | 14        | 18      |              |        | 4,64              | 294     |
| 1,5      | 7            | 7 | 25            | 252     | 220    | 22          | 13    | 0,8              | 14      | —        | —       | 6         | 16      | 18           | 26     | 5,26              | 320     |
|          |              |   | 5             | 158     | 140    |             | 0     | 0,9              | 15      | —        | —       | 6         | 18      |              |        | 5,35              | 322     |
|          |              |   | 5             | 158     | 140    |             | 0     | 1,0              | 15      | —        | —       | 7         | 20      |              |        | 5,35              | 327     |
| 1,7      | 6            | 6 | 30            | 224     | 200    | 26          | 26    | 0,8              | 15      | —        | —       | 9         | 18      | 18           | —      | 5,26              | 348     |
|          |              |   | 5             | 156     | 140    |             | 0     | 0,9              | 15      | —        | —       | 10        | 20      |              |        | 5,26              | 351     |
|          |              |   | 5             | 156     | 140    |             | 0     | 1,1              | 16      | —        | —       | 12        | 24      |              |        | 5,35              | 360     |

Число панелей . . . . .  $N = 14$   
 Высота фермы . . . . .  $H = 507$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 15$  °  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2398$  м

$L = 29,5$  м

Таблица 44

| Нагрузка | Верхний пояс |   |         | Нижний пояс |        | Снеговая нагрузка | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материала |         |    |    |      |      |     |     |
|----------|--------------|---|---------|-------------|--------|-------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|------------------|---------|----|----|------|------|-----|-----|
|          | Размеры      |   | Прогоны | Гвозди      | Высота |                   | Стыни   | Нашилки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубли | Дерево           | Сталь 3 |    |    |      |      |     |     |
|          | a            | b | h       | л           | π      |                   | Ширина  | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                  |         |    |    |      |      |     |     |
| 0,4      | 5            | — | 20      | 28          | 24     | 44                | 44      | 15      | 10      | 72        | 0,1     | 12           | 8      | 3,5              | 7       | 3  | 12 | 15   | 2,38 | 87  | 84  |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,15    | 12           | 8      | 3,5              | 0,5     | 4  | 16 | 2,38 | 90   |     |     |
| 0,5      | 5            | — | 20      | 40          | 34     | 44                | 44      | 15      | 13      | 90        | 0,2     | 12           | 8      | 3,5              | 13      | 6  | 12 | 18   | 2,41 | 102 | 102 |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,25    | 12           | 8      | 3,5              | 15      | 7  | 18 | 2,41 | 104  |     |     |
| 0,5      | 5            | — | 4       | 44          | 44     | 44                | 15      | 0,3     | 16      | 9         | 0,3     | 16           | 9      | 3,5              | 16      | 8  | 18 | 2,61 | 106  | 106 |     |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,2     | 12           | 8      | 3,5              | 6       | 5  | 14 | 2,61 | 129  |     |     |
| 0,7      | 6            | — | 25      | 114         | 104    | 50                | 40      | 18      | 17      | 99        | 0,2     | 12           | 8      | 3,5              | 5       | 5  | 14 | 3,03 | 150  | 150 |     |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,3     | 13           | 8      | 5                | 6       | 7  | 20 | 3,25 | 154  |     |     |
| 0,8      | 6            | — | 25      | 130         | 118    | 62                | 56      | 20      | 19      | 113       | 0,3     | 13           | 8      | 0,5              | 6,5     | 7  | 16 | 3,36 | 175  | 175 |     |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,4     | 15           | 8      | 5                | 8       | 9  | 23 | 3,44 | 181  |     |     |
| 0,9      | 7            | — | 25      | 146         | 132    | 72                | 66      | 21      | 18      | 126       | 0,3     | 12           | 8      | 5                | 5,5     | 7  | 16 | 3,82 | 210  | 210 |     |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,4     | 13           | 8      | 5                | 7       | 9  | 24 | 3,87 | 215  |     |     |
| 1,0      | 7            | — | 25      | 164         | 148    | 80                | 74      | 22      | 14      | 141       | 0,4     | 13           | 8      | 5                | 7       | 10 | 18 | 3,92 | 232  | 232 |     |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,5     | 15           | 8      | 5                | 8,5     | 12 | 24 | 4,03 | 237  |     |     |
| 1,1      | 7            | — | 30      | 120         | 107    | 66                | 58      | 24      | 15      | 155       | 0,5     | 15           | 8      | 5                | 9       | 12 | 18 | 4,47 | 249  | 249 |     |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,6     | 18           | 9      | 5                | 10      | 14 | 25 | 4,70 | 258  |     |     |
| 1,2      | 7            | — | 30      | 130         | 118    | 70                | 64      | 24      | 17      | 169       | 0,6     | 18           | 9      | 5                | 10      | 14 | 18 | 4,58 | 272  | 272 |     |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,7     | 20           | 9      | 5                | 11,5    | 16 | 25 | 4,91 | 277  |     |     |
| 1,3      | 6            | 6 | 25      | 212         | 192    | 134               | 122     | 23      | 21      | 0         | 0,7     | 14           | —      | —                | 9       | 16 | 16 | 4,79 | 295  | 295 |     |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,8     | 15           | —      | —                | 10      | 18 | 22 | 4,88 | 298  |     |     |
| 1,5      | 7            | 7 | 25      | 246         | 222    | 154               | 140     | 23      | 14      | 0         | 0,8     | 15           | —      | —                | 6       | 18 | 16 | 5,73 | 360  | 360 |     |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,9     | 15           | —      | —                | 6       | 20 | 25 | 5,78 | 363  |     |     |
| 1,7      | 7            | 7 | 30      | 186         | 166    | 182               | 116     | 25      | 16      | 0         | 0,8     | 15           | —      | —                | 6       | 18 | 18 | 6,39 | 392  | 392 |     |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 0,9     | 15           | —      | —                | 6       | 20 | 25 | 6,39 | 394  |     |     |
| 1,7      | 7            | 7 | 30      | 186         | 166    | 182               | 116     | 25      | 16      | 0         | 1,1     | 16           | —      | —                | 8       | 24 | 25 | 6,59 | 394  | 394 |     |
|          |              |   |         |             |        |                   |         |         |         |           | 1,1     | 16           | —      | —                | 8       | 24 | 25 | 6,59 | 394  |     |     |

|     |   |   |    |     |     |    |     |     |    |   |   |      |    |    |      |     |
|-----|---|---|----|-----|-----|----|-----|-----|----|---|---|------|----|----|------|-----|
| 0,9 | 7 | — | 25 | 154 | 140 | 21 | 13  | 0,3 | 13 | 8 | 5 | 6    | 8  | 16 | 4,00 | 215 |
|     |   |   | 5  | 76  | 68  |    | 131 | 0,4 | 14 | 8 | 5 | 8    | 10 | 24 | 4,05 | 221 |
|     |   |   |    |     |     |    |     | 0,5 | 15 | 8 | 5 | 10   | 12 |    | 4,11 | 227 |
| 1,0 | 7 | — | 25 | 170 | 154 | 23 | 14  | 0,4 | 14 | 8 | 5 | 8    | 10 | 18 | 4,18 | 239 |
|     |   |   | 5  | 84  | 76  |    | 146 | 0,5 | 15 | 8 | 5 | 10   | 12 |    | 4,21 | 245 |
|     |   |   |    |     |     |    |     | 0,6 | 18 | 9 | 5 | 11   | 14 | 24 | 4,45 | 249 |
| 1,1 | 7 | — | 30 | 124 | 112 | 25 | 16  | 0,5 | 15 | 8 | 5 | 10   | 12 | 18 | 4,68 | 263 |
|     |   |   | 5  | 68  | 62  |    | 160 | 0,6 | 18 | 9 | 5 | 11   | 14 | 25 | 4,91 | 269 |
|     |   |   |    |     |     |    |     | 0,7 | 20 | 9 | 5 | 12   | 16 |    | 5,02 | 273 |
| 1,2 | 7 | — | 30 | 136 | 122 | 26 | 17  | 0,6 | 18 | 9 | 5 | 11,5 | 14 | 20 | 4,97 | 285 |
|     |   |   | 5  | 74  | 66  |    | 175 | 0,7 | 20 | 9 | 5 | 12   | 16 | 27 | 5,08 | 288 |
|     |   |   |    |     |     |    |     | 0,8 | 22 | 9 | 5 | 14   | 18 |    | 5,18 | 294 |
| 1,3 | 6 | 6 | 25 | 222 | 200 | 24 | 22  | 0,7 | 15 | — | — | 10   | 16 | 16 | 5,19 | 278 |
|     |   |   | 5  | 140 | 128 |    | 0   | 0,8 | 15 | — | — | 11   | 18 | 24 | 5,19 | 282 |
|     |   |   |    |     |     |    |     | 0,9 | 16 | — | — | 12   | 20 |    | 5,28 | 286 |
| 1,5 | 7 | 7 | 25 | 256 | 232 | 23 | 14  | 0,8 | 15 | — | — | 6    | 20 | 18 | 5,97 | 329 |
|     |   |   | 5  | 162 | 148 |    | 0   | 0,9 | 16 | — | — | 7    | 20 | 24 | 6,08 | 333 |
|     |   |   |    |     |     |    |     | 1,0 | 16 | — | — | 8    | 22 |    | 6,08 | 338 |
| 1,7 | 7 | 7 | 30 | 190 | 174 | 25 | 16  | 0,8 | 15 | — | — | 6    | 20 | 18 | 6,71 | 398 |
|     |   |   | 5  | 134 | 120 |    | 0   | 0,9 | 16 | — | — | 7    | 22 | 25 | 6,71 | 392 |
|     |   |   |    |     |     |    |     | 1,1 | 18 | — | — | 8    | 26 |    | 7,03 | 401 |

# СЕРМЕНТНЫЕ ФОРМЫ

576

Число панелей . . . . .  $N = 14$   
 Высота фермы . . . . .  $H = 528$  см  
 Отлог. полтем . . . . .  $f = 15$  °  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2494$  м

$L = 80,5$  м

Таблица 45



| Нагрузка | Верхний пояс |   |        | Нижний пояс |       | Решетка |          |    |        |         |      | Опорные ушлы |        | Разног материал |     |     |      |     |      |    |
|----------|--------------|---|--------|-------------|-------|---------|----------|----|--------|---------|------|--------------|--------|-----------------|-----|-----|------|-----|------|----|
|          | Размеры      |   | Прогон | Высота      | Стыки | Ширина  | Напильки |    | Прогон | В ушлах | Тяжи | Врубки       | Дерево | Сталь 3         |     |     |      |     |      |    |
|          | a            | b |        |             |       |         | h        | h  |        |         |      |              |        |                 | h   |     |      |     |      |    |
| 0,4      | 5            | — | 4      | 20          | 32    | 28      | 44       | 44 | 15     | 11      | 75   | 0,1          | 12     | 8               | 3,5 | 7,5 | 3    | 12  | 2,48 | 91 |
|          |              |   |        |             |       |         |          |    |        |         |      | 0,15         | 12     | 8               | 3,5 | 10  | 4    | 16  | 3,48 | 94 |
|          |              |   |        |             |       |         |          |    |        |         |      | 0,2          | 12     | 8               | 3,5 | 13  | 6    | 18  | 2,48 | 98 |
| 0,5      | 5            | — | 4      | 20          | 48    | 40      | 44       | 44 | 15     | 0,2     | 12   | 8            | 3,5    | 13,5            | 6   | 12  | 2,49 | 110 |      |    |
|          |              |   |        |             |       |         |          |    |        | 0,25    | 15   | 8            | 3,5    | 15              | 7   | 18  | 2,60 | 113 |      |    |
|          |              |   |        |             |       |         |          |    |        | 0,3     | 18   | 9            | 3,5    | 17,5            | 8   | 18  | 2,76 | 115 |      |    |
| 0,6      | 6            | — | 4      | 20          | 58    | 50      | 40       | 40 | 15     | 0,2     | 12   | 8            | 3,5    | 7               | 5   | 14  | 2,91 | 126 |      |    |
|          |              |   |        |             |       |         |          |    |        | 0,3     | 13   | 8            | 5      | 6,5             | 7   | 20  | 3,14 | 126 |      |    |
|          |              |   |        |             |       |         |          |    |        | 0,4     | 15   | 8            | 5      | 8,5             | 9   | 20  | 3,23 | 146 |      |    |
| 0,7      | 6            | — | 5      | 25          | 120   | 108     | 56       | 52 | 18     | 0,2     | 12   | 8            | 3,5    | 7               | 5   | 16  | 3,13 | 164 |      |    |
|          |              |   |        |             |       |         |          |    |        | 0,3     | 13   | 8            | 5      | 6,5             | 7   | 22  | 3,36 | 167 |      |    |
|          |              |   |        |             |       |         |          |    |        | 0,4     | 15   | 8            | 5      | 8,5             | 9   | 22  | 3,45 | 173 |      |    |
| 0,8      | 6            | — | 5      | 25          | 136   | 124     | 64       | 58 | 22     | 0,3     | 13   | 8            | 5      | 7               | 7   | 16  | 3,56 | 183 |      |    |
|          |              |   |        |             |       |         |          |    |        | 0,4     | 15   | 8            | 5      | 8,5             | 9   | 25  | 3,65 | 188 |      |    |
|          |              |   |        |             |       |         |          |    |        | 0,5     | 16   | 9            | 5      | 10              | 11  | 22  | 3,77 | 198 |      |    |

Число панелей . . . . .  $N = 14$   
 Высота фермы . . . . .  $H = 541$  см  
 Стропил. подвес . . . . .  $h = 18$  "   
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2565$  "

$L = 31,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |     | Нижний пояс |        |        | Решетка |         |        |       | Опорные узлы |      | Расход материала |         |        |         |           |         |      |        |         |        |     |     |
|----------|--------------|---|-----|-------------|--------|--------|---------|---------|--------|-------|--------------|------|------------------|---------|--------|---------|-----------|---------|------|--------|---------|--------|-----|-----|
|          | Размеры      |   |     | Точки       |        |        | Ширина  | Наширны |        | Точки | В узлах      | Тяжи | Врубки           | Сталь 3 | Дерево |         |           |         |      |        |         |        |     |     |
|          | а            | б | в/п | Прогоны     | Настил | Высота |         | Стыки   | Ширина |       |              |      |                  |         |        | Толщина | В решетке | В узлах | Тяжи | Врубки | Сталь 3 | Дерево |     |     |
| 0,4      | 5            | — | 4   | 20          | 34     | 44     | 30      | 44      | 44     | 15    | 11           | 0,15 | 12               | 8       | 3,5    | 11      | 5         | 6       | 12   | 15     | 2,57    | 2,57   | 100 | 96  |
| 0,5      | 6            | — | 4   | 20          | 46     | 40     | 40      | 40      | 40     | 15    | 13           | 0,25 | 12               | 8       | 3,5    | 9       | 6         | 7       | 14   | 16     | 3,04    | 3,04   | 132 | 128 |
| 0,6      | 6            | — | 4   | 20          | 60     | 40     | 54      | 40      | 40     | 17    | 16           | 0,2  | 12               | 8       | 3,5    | 8       | 5         | 7       | 14   | 19     | 3,07    | 3,21   | 147 | 144 |
| 0,7      | 6            | — | 5   | 25          | 130    | 118    | 118     | 56      | 56     | 19    | 18           | 0,3  | 13               | 8       | 5      | 7       | 7         | 9       | 16   | 22     | 3,52    | 3,52   | 174 | 172 |
| 0,8      | 6            | — | 5   | 25          | 148    | 136    | 136     | 64      | 64     | 22    | 21           | 0,4  | 15               | 8       | 5      | 9       | 9         | 9       | 16   | 25     | 3,61    | 3,61   | 180 | 198 |
| 0,9      | 7            | — | 5   | 25          | 168    | 152    | 152     | 76      | 76     | 22    | 18           | 0,3  | 13               | 8       | 5      | 6,5     | 8         | 10      | 18   | 25     | 4,18    | 4,18   | 227 | 232 |
| 1,0      | 6            | — | 5   | 30          | 126    | 114    | 114     | 60      | 60     | 26    | 26           | 0,4  | 16               | 9       | 5      | 11      | 12        | 12      | 24   | —      | 4,24    | 4,24   | 232 | 239 |
| 1,1      | 7            | — | 5   | 30          | 138    | 126    | 126     | 68      | 68     | 25    | 16           | 0,5  | 15               | 8       | 5      | 10      | 14        | 14      | 25   | —      | 4,48    | 4,48   | 249 | 270 |
| 1,3      | 6            | 6 | 5   | 25          | 226    | 206    | 206     | 130     | 130    | 22    | 16           | 0,6  | 18               | 9       | 5      | 11      | 17        | 17      | 25   | —      | 5,08    | 5,08   | 275 | 283 |
| 1,5      | 7            | 7 | 5   | 30          | 190    | 172    | 172     | 120     | 120    | 24    | 15           | 0,7  | 15               | 8       | 7      | 13,5    | 16        | 20      | 18   | —      | 5,19    | 5,19   | 292 | 302 |
| 1,7      | 7            | 7 | 5   | 30          | 214    | 192    | 192     | 134     | 134    | 28    | 13           | 0,8  | 16               | 8       | 7      | 18      | 20        | 22      | 24   | —      | 5,29    | 5,29   | 302 | 328 |
| 1,7      | 7            | 7 | 5   | 30          | 214    | 192    | 192     | 134     | 134    | 28    | 15           | 0,9  | 16               | 8       | 7      | 18      | 20        | 22      | 24   | —      | 6,01    | 6,01   | 343 | 348 |
| 1,7      | 7            | 7 | 5   | 30          | 214    | 192    | 192     | 134     | 134    | 28    | 15           | 1,0  | 16               | 8       | 7      | 20      | 22        | 24      | 25   | —      | 6,12    | 6,12   | 348 | 378 |
| 1,7      | 7            | 7 | 5   | 30          | 214    | 192    | 192     | 134     | 134    | 28    | 15           | 0,8  | 16               | 8       | 7      | 20      | 22        | 24      | 25   | —      | 6,92    | 6,92   | 383 | 398 |
| 1,7      | 7            | 7 | 5   | 30          | 214    | 192    | 192     | 134     | 134    | 28    | 15           | 0,9  | 16               | 8       | 7      | 20      | 22        | 24      | 26   | —      | 7,00    | 7,00   | 416 | 421 |
| 1,7      | 7            | 7 | 5   | 30          | 214    | 192    | 192     | 134     | 134    | 28    | 15           | 1,1  | 18               | 9       | 9      | 22      | 26        | 27      | 27   | —      | 7,11    | 7,11   | 421 | 498 |

Таблица 47

Число панелей . . . . . 14  
 Высота фермы . . . . .  $H = 557$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 16$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2648$  »

$L = 32,5$  м

| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |         |       | Нижний пояс |       | Снеговая нагрузка | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |     |
|----------|--------------|---|---------------|---------|-------|-------------|-------|-------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|-----|
|          | Размеры      |   |               | Гвозди  |       | Высота      | Стыки |                   | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |     |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Насты |             |       |                   |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |     |
| 0,4      | 5            | — | 20            | 40      | 34    | 15          | 11    | 0,1               | 12      | 8       | 3,5     | 8,5       | 3       | 12           | 15     | 2,64              | 94      |     |
|          |              |   | 4             | 44      | 44    |             |       | 80                | 0,15    | 12      | 8       | 3,5       | 11,5    |              |        | 5                 | 2,64    | 99  |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 0,2     | 12      | 8       | 3,5       | 15      |              |        | 6                 | 2,64    | 102 |
| 0,5      | 6            | — | 20            | 54      | 46    | 15          | 14    | 0,2               | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 5       | 14           | 17     | 3,08              | 127     |     |
|          |              |   | 4             | 40      | 40    |             |       | 78                | 0,25    | 13      | 8       | 3,5       | 9       |              |        | 6                 | 3,13    | 131 |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 0,3     | 14      | 8       | 5         | 7       |              |        | 7                 | 3,38    | 131 |
| 0,6      | 6            | — | 25            | 134     | 119   | 17          | 16    | 0,2               | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 5       | 14           | 20     | 3,29              | 157     |     |
|          |              |   | 5             | 64      | 56    |             |       | 93                | 0,3     | 14      | 8       | 5         | 7,5     |              |        | 7                 | 3,34    | 161 |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 0,4     | 15      | 8       | 5         | 9       |              |        | 10                | 3,63    | 168 |
| 0,7      | 6            | — | 25            | 158     | 138   | 20          | 19    | 0,2               | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 6       | 16           | 23     | 3,45              | 196     |     |
|          |              |   | 5             | 74      | 66    |             |       | 109               | 0,3     | 14      | 8       | 5         | 7,5     |              |        | 8                 | 3,75    | 190 |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 0,4     | 15      | 8       | 5         | 9       |              |        | 10                | 3,79    | 195 |
| 0,8      | 6            | — | 25            | 180     | 158   | 23          | 22    | 0,3               | 14      | 8       | 5       | 7,5       | 8       | 16           | 26     | 3,87              | 211     |     |
|          |              |   | 5             | 86      | 74    |             |       | 124               | 0,4     | 15      | 8       | 5         | 9,5     |              |        | 10                | 3,92    | 217 |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 0,5     | 16      | 8       | 5         | 12      |              |        | 12                | 4,05    | 224 |
| 0,9      | 7            | — | 25            | 202     | 178   | 22          | 14    | 0,3               | 14      | 8       | 5       | 7         | 8       | 18           | 26     | 4,38              | 248     |     |
|          |              |   | 5             | 100     | 88    |             |       | 141               | 0,4     | 15      | 8       | 5         | 9       |              |        | 10                | 4,43    | 249 |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 0,5     | 16      | 9       | 5         | 11      |              |        | 12                | 4,57    | 255 |
| 1,0      | 7            | — | 30            | 132     | 118   | 24          | 15    | 0,4               | 15      | 8       | 5       | 9         | 10      | 18           | —      | 4,92              | 254     |     |
|          |              |   | 5             | 72      | 64    |             |       | 155               | 0,5     | 18      | 9       | 5         | 10      |              |        | 13                | 5,18    | 257 |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 0,6     | 20      | 9       | 5         | 12      |              |        | 15                | 5,29    | 263 |
| 1,1      | 7            | — | 30            | 144     | 130   | 26          | 17    | 0,5               | 18      | 9       | 5       | 10        | 13      | 20           | —      | 5,29              | 286     |     |
|          |              |   | 5             | 78      | 70    |             |       | 170               | 0,6     | 20      | 9       | 5         | 12,5    |              |        | 15                | 5,40    | 293 |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 0,7     | 22      | 9       | 5         | 15      |              |        | 18                | 5,52    | 302 |
| 1,2      | 6            | 6 | 25            | 270     | 236   | 23          | 21    | 0,6               | 15      | —       | —       | 10        | 16      | 16           | —      | 5,42              | 310     |     |
|          |              |   | 5             | 170     | 150   |             |       | 0                 | 0,7     | 16      | —       | —         | 12      |              |        | 18                | 5,51    | 315 |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 0,8     | 16      | —       | —         | 14      |              |        | 20                | 5,52    | 321 |
| 1,3      | 7            | 7 | 25            | 292     | 256   | 22          | 13    | 0,7               | 15      | —       | —       | 7         | 18      | 16           | —      | 6,28              | 358     |     |
|          |              |   | 5             | 186     | 162   |             |       | 0                 | 0,8     | 16      | —       | —         | 8       |              |        | 20                | 6,39    | 363 |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 0,9     | 16      | —       | —         | 8       |              |        | 22                | 6,39    | 366 |
| 1,5      | 7            | 7 | 30            | 196     | 178   | 24          | 15    | 0,8               | 16      | —       | —       | 8         | 20      | 18           | —      | 7,16              | 384     |     |
|          |              |   | 5             | 136     | 124   |             |       | 0                 | 0,9     | 16      | —       | —         | 8       |              |        | 22                | 7,16    | 387 |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 1,0     | 17      | —       | —         | 10      |              |        | 24                | 7,28    | 394 |
| 1,7      | 7            | 7 | 30            | 222     | 200   | 26          | 17    | 0,8               | 16      | —       | —       | 8         | 20      | 20           | —      | 7,34              | 424     |     |
|          |              |   | 5             | 154     | 140   |             |       | 0                 | 0,9     | 16      | —       | —         | 9       |              |        | 22                | 7,34    | 428 |
|          |              |   |               |         |       |             |       |                   | 1,1     | 18      | —       | —         | 10      |              |        | 26                | 7,56    | 436 |



Число панелей . . . . .  $N = 14$   
 Высота фермы . . . . .  $H = 57,5$  см  
 Стропил: подъям . . . . .  $f = 11$  »  
 Раскос: крайневый . . . . .  $K = 2125$  »

$L = 33,5$  м



| Нагрузка | Верхняя пояс |    |               | Нижняя пояс |        |        | Снеговая нагрузка |       |        |         |           | Решетка |         |      | Опорные узлы |        | Расход материала |         |
|----------|--------------|----|---------------|-------------|--------|--------|-------------------|-------|--------|---------|-----------|---------|---------|------|--------------|--------|------------------|---------|
|          | Размеры      |    |               | Тяговые     |        |        | Высота            | Стыки | Ширина | Панели  |           | Тяговые | В узлах | Тяжи | Врубки       | Дерево | Сталь 3          |         |
|          | a            | b  | $\frac{h}{n}$ | Прогоны     | Настял | Ширина |                   |       |        | Толщина | В решетке |         |         |      |              |        |                  | В узлах |
| 0,4      | 5            | —  | 4             | 20          | 42     | 36     | 15                | 12    | 0,1    | 14      | 8         | 3,5     | 8,5     | 4    | 12           | 16     | 2,81             | 99      |
|          |              |    |               | 4           | 48     | 48     | 82                | 0,15  | 14     | 8       | 3,5       | 11,5    | 5       | 16   | 2,81         | 103    |                  |         |
|          |              |    |               | 4           | 48     | 48     | 82                | 0,2   | 14     | 9       | 3,5       | 15      | 6       | 107  | 2,81         | 107    |                  |         |
| 0,5      | 6            | —  | 4             | 20          | 66     | 48     | 15                | 14    | 0,2    | 13      | 8         | 3,5     | 8,5     | 5    | 14           | 17     | 3,53             | 134     |
|          |              |    |               | 4           | 44     | 44     | 80                | 0,25  | 15     | 8       | 6         | 6,5     | 6       | 18   | 3,53         | 133    |                  |         |
|          |              |    |               | 4           | 44     | 44     | 80                | 0,3   | 15     | 9       | 5         | 7,5     | 7       | 186  | 3,53         | 136    |                  |         |
| 0,6      | 6            | —  | 5             | 25          | 126    | 116    | 18                | 17    | 0,2    | 13      | 8         | 3,5     | 8,5     | 5    | 14           | 20     | 3,48             | 159     |
|          |              |    |               | 5           | 60     | 54     | 96                | 0,3   | 15     | 8       | 5         | 8       | 8       | 165  | 3,79         | 165    |                  |         |
|          |              |    |               | 5           | 60     | 54     | 96                | 0,4   | 17     | 8       | 5         | 10      | 10      | 171  | 3,97         | 171    |                  |         |
| 0,7      | 6            | —  | 5             | 25          | 148    | 134    | 20                | 19    | 0,2    | 13      | 8         | 3,5     | 9       | 8    | 16           | 23     | 3,60             | 186     |
|          |              |    |               | 5           | 70     | 64     | 112               | 0,3   | 15     | 8       | 5         | 8       | 8       | 190  | 3,91         | 190    |                  |         |
|          |              |    |               | 5           | 70     | 64     | 112               | 0,4   | 17     | 8       | 5         | 10      | 10      | 196  | 4,09         | 196    |                  |         |
| 0,8      | 6            | —  | 5             | 30          | 116    | 104    | 24                | 22    | 0,3    | 15      | 8         | 5       | 8       | 16   | 26           | 4,38   | 209              |         |
|          |              |    |               | 5           | 60     | 54     | 128               | 0,4   | 17     | 9       | 5         | 10      | 11      | 216  | 4,56         | 216    |                  |         |
|          |              |    |               | 5           | 60     | 54     | 128               | 0,5   | 18     | 9       | 5         | 12      | 13      | 222  | 4,61         | 222    |                  |         |
| 0,9      | 6            | —  | 5             | 30          | 130    | 118    | 26                | 25    | 0,3    | 15      | 8         | 5       | 8       | 18   | 28           | 4,50   | 233              |         |
|          |              |    |               | 5           | 68     | 62     | 144               | 0,4   | 17     | 9       | 5         | 10      | 11      | 241  | 4,69         | 241    |                  |         |
|          |              |    |               | 5           | 68     | 62     | 144               | 0,5   | 19     | 9       | 5         | 12      | 13      | 247  | 4,74         | 247    |                  |         |
| 1,0      | 7            | —  | 5             | 30          | 144    | 130    | 25                | 16    | 0,4    | 15      | 8         | 5       | 10      | 18   | —            | 5,12   | 274              |         |
|          |              |    |               | 5           | 78     | 70     | 160               | 0,5   | 18     | 9       | 5         | 12      | 13      | 290  | 5,38         | 290    |                  |         |
|          |              |    |               | 5           | 78     | 70     | 160               | 0,6   | 20     | 9       | 5         | 13,5    | 16      | 297  | 5,50         | 297    |                  |         |
| 1,1      | 7            | —  | 5             | 30          | 158    | 144    | 26                | 17    | 0,5    | 18      | 9         | 5       | 12,5    | 13   | 20           | 5,44   | 300              |         |
|          |              |    |               | 5           | 86     | 78     | 176               | 0,6   | 20     | 9       | 5         | 14      | 16      | 307  | 5,56         | 307    |                  |         |
|          |              |    |               | 5           | 86     | 78     | 176               | 0,7   | 24     | 9       | 5         | 15      | 18      | 311  | 5,80         | 311    |                  |         |
| 1,2      | 7            | 7  | 5             | 25          | 254    | 230    | 21                | 18    | 0,6    | 16      | —         | 7       | 16      | 16   | —            | 6,38   | 348              |         |
|          |              |    |               | 5           | 160    | 146    | 21                | 13    | 0,7    | 15      | —         | 8       | 18      | 16   | —            | 6,38   | 353              |         |
|          |              |    |               | 5           | 160    | 146    | 21                | 13    | 0,8    | 16      | —         | 8       | 20      | 355  | 6,50         | 355    |                  |         |
| 1,3      | 7            | 7  | 5             | 25          | 274    | 250    | 22                | 14    | 0,7    | 15      | —         | 8       | 18      | 18   | —            | 6,47   | 373              |         |
|          |              |    |               | 5           | 174    | 158    | 22                | 14    | 0,8    | 16      | —         | 9       | 20      | 378  | 6,59         | 378    |                  |         |
|          |              |    |               | 5           | 174    | 158    | 22                | 14    | 0,9    | 17      | —         | 10      | 22      | 383  | 6,71         | 383    |                  |         |
| 1,5      | 7            | 7  | 5             | 30          | 216    | 194    | 25                | 16    | 0,8    | 16      | —         | 9       | 22      | 18   | —            | 7,45   | 412              |         |
|          |              |    |               | 5           | 150    | 136    | 25                | 16    | 0,9    | 17      | —         | 10      | 24      | 417  | 7,57         | 417    |                  |         |
|          |              |    |               | 5           | 150    | 136    | 25                | 16    | 1,0    | 18      | —         | 11      | 26      | 429  | 7,69         | 429    |                  |         |
| 1,7      | 6            | 18 | 5             | 35          | 360    | 326    | 25                | 24    | 0,8    | 17      | —         | 10      | 20      | 18   | —            | 7,91   | 440              |         |
|          |              |    |               | 5           | 204    | 186    | 25                | 24    | 0,9    | 18      | —         | 10      | 24      | 18   | —            | 8,03   | 445              |         |
|          |              |    |               | 5           | 204    | 186    | 25                | 24    | 1,1    | 19      | —         | 12      | 29      | 24   | —            | 8,15   | 452              |         |

Число панелей . . . . . 14  
 Высота фермы . . . . .  $H = 592$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 17$  °  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2806$  м

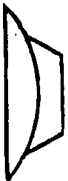
$L = 34,5$  м

Таблица 49

| Наг. рука | Верхний пояс |    |               |         |        | Нижний пояс |        | Снеговая нагрузка | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|-----------|--------------|----|---------------|---------|--------|-------------|--------|-------------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|           | Размеры      |    |               | Гвозди  |        | Высота      | Стенки |                   | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|           | a            | b  | $\frac{h}{n}$ | Прогоны | Настли |             |        |                   |         | Ширина  | Толщина | В рещетке | В узлах |              |        |                   |         |
| 0,4       | 6            | —  | 20            | 42      | 36     | 15          | 12     | 0,1               | 13      | 8       | 5       | 3         | 3       | 12           | 17     | 3,52              | 107     |
|           |              |    | 4             | 44      | 44     |             | 66     | 0,15              | 13      | 8       | 5       | 4,5       | 4       |              |        | 3,52              | 111     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 0,2               | 13      | 8       | 5       | 5,5       | 6       |              |        | 3,52              | 118     |
| 0,5       | 6            | —  | 20            | 60      | 52     | 15          | 14     | 0,2               | 13      | 8       | 5       | 6         | 6       | 14           | 17     | 3,53              | 135     |
|           |              |    | 4             | 44      | 44     |             | 82     | 0,25              | 15      | 8       | 5       | 7         | 7       |              |        | 3,64              | 138     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 0,3               | 15      | 8       | 5       | 8         | 8       |              |        | 3,64              | 141     |
| 0,6       | 6            | —  | 25            | 138     | 126    | 18          | 17     | 0,2               | 13      | 8       | 5       | 6         | 6       | 14           | 21     | 3,90              | 164     |
|           |              |    | 5             | 66      | 60     |             | 99     | 0,3               | 15      | 8       | 5       | 8,5       | 8       |              |        | 3,90              | 171     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 0,4               | 16      | 9       | 5       | 11        | 10      |              |        | 4,04              | 176     |
| 0,7       | 6            | —  | 25            | 160     | 146    | 22          | 20     | 0,2               | 13      | 8       | 5       | 6         | 6       | 16           | 25     | 3,98              | 192     |
|           |              |    | 5             | 76      | 70     |             | 115    | 0,3               | 15      | 8       | 5       | 9         | 8       |              |        | 4,09              | 200     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 0,4               | 16      | 9       | 5       | 11,5      | 10      |              |        | 4,23              | 207     |
| 0,8       | 7            | —  | 25            | 184     | 168    | 21          | 13     | 0,3               | 14      | 8       | 5       | 7,5       | 9       | 18           | 25     | 4,58              | 233     |
|           |              |    | 5             | 90      | 82     |             | 132    | 0,4               | 15      | 8       | 5       | 10        | 10      |              |        | 4,64              | 239     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 0,5               | 18      | 9       | 5       | 12        | 13      |              |        | 4,91              | 247     |
| 0,9       | 6            | —  | 30            | 134     | 122    | 26          | 26     | 0,3               | 16      | 9       | 5       | 9         | 9       | 18           | —      | 4,78              | 242     |
|           |              |    | 5             | 70      | 64     |             | 148    | 0,4               | 16      | 9       | 5       | 12        | 10      |              |        | 4,78              | 249     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 0,5               | 18      | 9       | 5       | 13,5      | 13      |              |        | 4,89              | 256     |
| 1,0       | 7            | —  | 30            | 150     | 136    | 26          | 16     | 0,4               | 15      | 8       | 5       | 10,5      | 11      | 18           | —      | 5,34              | 279     |
|           |              |    | 5             | 82      | 74     |             | 165    | 0,5               | 18      | 9       | 5       | 12        | 13      |              |        | 5,61              | 284     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 0,6               | 20      | 9       | 5       | 13,5      | 15      |              |        | 5,73              | 290     |
| 1,1       | 7            | 7  | 25            | 252     | 230    | 20          | 12     | 0,5               | 14      | —       | —       | 6         | 14      | 16           | —      | 6,32              | 319     |
|           |              |    | 5             | 160     | 146    |             | 0      | 0,6               | 15      | —       | —       | 7         | 16      |              |        | 6,43              | 324     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 0,7               | 16      | —       | —       | 8         | 18      |              |        | 6,56              | 329     |
| 1,2       | 7            | 7  | 25            | 276     | 250    | 22          | 18     | 0,6               | 15      | —       | —       | 8         | 16      | 16           | —      | 6,66              | 347     |
|           |              |    | 5             | 174     | 160    |             | 0      | 0,7               | 16      | —       | —       | 8         | 18      |              |        | 6,78              | 349     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 0,8               | 17      | —       | —       | 10        | 20      |              |        | 6,92              | 357     |
| 1,3       | 7            | 7  | 30            | 194     | 176    | 23          | 14     | 0,7               | 16      | —       | —       | 9         | 18      | 18           | —      | 7,47              | 373     |
|           |              |    | 5             | 134     | 122    |             | 0      | 0,8               | 17      | —       | —       | 10        | 20      |              |        | 7,59              | 378     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 0,9               | 18      | —       | —       | 10        | 22      |              |        | 7,71              | 38      |
| 1,5       | 7            | 7  | 30            | 226     | 204    | 26          | 16     | 0,8               | 17      | —       | —       | 10        | 20      | 18           | —      | 7,91              | 420     |
|           |              |    | 5             | 156     | 142    |             | 0      | 0,9               | 18      | —       | —       | 11        | 24      |              |        | 8,03              | 427     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 1,0               | 18      | —       | —       | 12        | 26      |              |        | 8,03              | 433     |
| 1,7       | 6            | 18 | 25            | 392     | 356    | 25          | 24     | 0,8               | 18      | —       | —       | 8         | 22      | 18           | —      | 8,40              | 430     |
|           |              |    | 5             | 222     | 202    |             | 0      | 0,9               | 18      | —       | —       | 10        | 24      |              |        | 8,40              | 435     |
|           |              |    |               |         |        |             |        | 1,1               | 20      | —       | —       | 12        | 28      |              |        | 8,66              | 440     |

Ключ к пользованию таблицами

Число нагелей по верхнему поясу

Высота фермы  $H$  в смСтроит. подъем  $f \approx \frac{L}{300}$  в смРадиус кривизны  $R$  в смСтены ферм  
см. фиг. 5Расчетный пролет  $L$  в м

| Нагрузка   | Верхний пояс |               | Число гвоздей | Снеговая нагрузка |  | Высота | Нижний пояс | Стыки | Решетка |                                      |              | В узлах | Тяжи | Врубни | Дерево | Сталь 3 |
|--|--------------|---------------|---------------|-------------------|--|--------|-------------|-------|---------|--------------------------------------|--------------|---------|------|--------|--------|---------|
|  | Размеры      |               |               | Нашиевка          |  |        |             |       | Гвозди  |                                      | Опорные узлы |         |      |        |        |         |
| $a$  | $b$          | $\frac{h}{n}$ |               |                   |  |        |             |       | Ширина  | Ширина                               | Толщина      |         |      |        |        |         |
| Постоянная плюс снеговая в тоннах на 1 пог. м горизонтальной проекции верхнего пояса   |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| Ширина крайней ветви   |              |               |               |                   |  |        |             |       |         | См. табл. 10                         |              |         |      |        |        |         |
| Ширина средней ветви   |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| $h$ — высота, $n$ — число брусков по высоте  |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| Полное число гвоздей в крайней подфонарной панели: сверху — вертикальных, внизу — горизонтальных. Размеры гвоздей — табл. 13                                   |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| Схемы нагрузок — фиг. 55   |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| Число досок определяется типом сечения верхнего пояса по фиг. 16, а толщина — размером $a$ верхнего пояса  |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| Вверху — число нагелей, внизу — число гвоздей с каждой стороны стыка. Число $n$ рядов нагелей по высоте — табл. 14. Размеры нагелей и гвоздей — табл. 15 и 16. |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| Толщина досок решетки равна размеру $a$ верхнего пояса   |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| Типы сечений — табл. 17  |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| Для решетки с нашивками — полное число гвоздей на 1 пог. м, для двухветвевой решетки — в одной прокладке. Размеры гвоздей — табл. 19                           |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| Число гвоздей на один конец раскоса или стойки с обеих сторон пояса. Размеры гвоздей — табл. 20  |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| Вверху — диаметры тяжей по накладкам, внизу — по прокладкам. Маркированные диаметры нарезки по табл. 22  |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| Высота накладок и прокладок узлов на щелевых врубках   |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| В кубических метрах  |              |               |               |                   |  |        |             |       |         |                                      |              |         |      |        |        |         |
| В килограммах для ферм с опорными узлами на тяжах и со стыками нижнего пояса на нагелях  |              |               |               |                   |  |        |             |       |         | Без учета несущей конструкции фонаря |              |         |      |        |        |         |

Таблицы сегментных ферм

Таблица 50

Число панелей . . . . . 8  
 Высота фермы . . . . .  $H = 141$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 5$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 871$  »

$L = 9,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |          | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------------|-------------------|-------------|----------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Число гвоздей |                   | Высота      | Стыки    | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ |               |                   |             |          |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В углах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 4            | — | 12<br>3       | 28<br>39      | 0,2               | 12          | 0<br>36  | 12      | —       | —       | —         | 5       | 8<br>10      | 12     | 0,32              | 21      |
| 0,5      | 4            | — | 16<br>4       | 16<br>48      | 0,3               | 15          | 0<br>45  | 15      | —       | —       | —         | 7       | 8<br>12      | 15     | 0,40              | 27      |
| 0,6      | 5            | — | 16<br>4       | 12<br>44      | 0,4               | 14          | 6<br>40  | 14      | —       | —       | —         | 5       | 8<br>12      | 14     | 0,49              | 38      |
| 0,7      | 5            | — | 16<br>4       | 16<br>44      | 0,4               | 15          | 7<br>47  | 15      | —       | —       | —         | 6       | 10<br>14     | 15     | 0,52              | 45      |
| 0,8      | 5            | — | 20<br>5       | 26<br>55      | 0,5               | 15          | 8<br>54  | 15      | —       | —       | —         | 7       | 10<br>14     | 16     | 0,58              | 48      |
| 0,9      | 5            | — | 20<br>5       | 32<br>55      | 0,5               | 15          | 9<br>60  | 15      | —       | —       | —         | 7       | 12<br>16     | 16     | 0,59              | 56      |
| 1,0      | 5            | — | 20<br>5       | 44<br>55      | 0,6               | 17          | 10<br>68 | 17      | —       | —       | —         | 8       | 12<br>16     | 17     | 0,62              | 59      |
| 1,1      | 5            | — | 20<br>5       | 54<br>55      | 0,7               | 20          | 11<br>74 | 20      | —       | —       | —         | 9       | 12<br>16     | 20     | 0,68              | 64      |
| 1,2      | 5            | 5 | 16<br>4       | 33<br>88      | 0,8               | 14          | 8<br>0   | 14      | —       | —       | 4         | 10      | 10<br>14     | 14     | 0,87              | 72      |
| 1,3      | 5            | 5 | 16<br>4       | 38<br>88      | 0,9               | 15          | 8<br>0   | 15      | —       | —       | 4         | 12      | 10<br>14     | 15     | 0,90              | 76      |
| 1,5      | 5            | 5 | 20<br>5       | 60<br>110     | 1,0               | 14          | 10<br>0  | 14      | —       | —       | 4         | 12      | 12<br>16     | 16     | 0,97              | 87      |
| 1,7      | 5            | 5 | 20<br>5       | 80<br>110     | 1,1               | 16          | 11<br>0  | 15      | —       | —       | 4         | 14      | 12<br>16     | —      | 1,02              | 93      |

|     |   |   |    |     |     |    |    |    |   |   |    |    |    |       |     |
|-----|---|---|----|-----|-----|----|----|----|---|---|----|----|----|-------|-----|
| 0,8 | 5 | — | 20 | 38  | 0,5 | 16 | 9  | 16 | — | — | 7  | 12 | 17 | 0,566 | 55  |
|     |   |   | 5  | 60  |     |    | 60 |    |   |   | 14 | 14 |    |       |     |
| 0,9 | 5 | — | 20 | 52  | 0,5 | 18 | 10 | 18 | — | — | 8  | 12 | 18 | 0,70  | 61  |
|     |   |   | 5  | 60  |     |    | 67 |    |   |   | 16 | 16 |    |       |     |
| 1,0 | 5 | 5 | 16 | 32  | 0,6 | 14 | 7  | 14 | — | — | 10 | 10 | 14 | 0,95  | 72  |
|     |   |   | 4  | 96  |     |    | 0  |    |   |   | 14 | 14 |    |       |     |
| 1,1 | 5 | 5 | 16 | 38  | 0,7 | 15 | 8  | 15 | — | — | 12 | 10 | 15 | 0,99  | 77  |
|     |   |   | 4  | 96  |     |    | 0  |    |   |   | 14 | 14 |    |       |     |
| 1,2 | 6 | 6 | 16 | 38  | 0,8 | 15 | 8  | 15 | — | — | 12 | 12 | 15 | 1,09  | 88  |
|     |   |   | 4  | 96  |     |    | 0  |    |   |   | 14 | 14 |    |       |     |
| 1,3 | 6 | 6 | 16 | 45  | 0,9 | 15 | 9  | 15 | — | — | 12 | 12 | 15 | 1,10  | 97  |
|     |   |   | 4  | 96  |     |    | 0  |    |   |   | 16 | 16 |    |       |     |
| 1,5 | 5 | 5 | 20 | 90  | 1,0 | 17 | 11 | 17 | — | — | 16 | 12 | 17 | 1,17  | 99  |
|     |   |   | 5  | 120 |     |    | 0  |    |   |   | 16 | 16 |    |       |     |
| 1,7 | 6 | 6 | 20 | 96  | 1,1 | 17 | 12 | 17 | — | — | 16 | 12 | 17 | 1,41  | 116 |
|     |   |   | 5  | 120 |     |    | 0  |    |   |   | 18 | 18 |    |       |     |

Таблица 51

Число панелей . . . . .  $N = 155$  шт  
 Высота фермы . . . . .  $f = 5$  м  
 Стропил. ползем . . . . .  $R = 988$  кг  
 Радиус кривизны . . . . .  $L = 10,5$  м

$L = 10,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               | Число гвоздей | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |       | Решетка |        |         |           |         | Опорные углы |        | Расход материала |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------------|-------------------|-------------|-------|---------|--------|---------|-----------|---------|--------------|--------|------------------|---------|
|          | а            | б | $\frac{h}{r}$ |               |                   | Высота      | Стыки | Ширина  | Ширина | Толщина | В решетке | В узлах | Тяжи         | Врубки | Дерево           | Сталь 3 |
| 0,4      | 4            | — | 4             | 14            | 0,2               | 14          | 0     | 14      | —      | —       | —         | 6       | 8            | 14     | 0,48             | 27      |
|          | —            | — | —             | 56            | —                 | —           | 40    | —       | —      | —       | —         | —       | 12           | —      | —                | —       |
| 0,5      | 5            | — | 4             | 16            | 0,3               | 14          | 6     | 14      | —      | —       | —         | 5       | 8            | 14     | 0,54             | 38      |
|          | —            | — | —             | 10            | —                 | —           | 37    | —       | —      | —       | —         | —       | 12           | —      | —                | —       |
| 0,6      | 5            | — | 4             | 16            | 0,4               | 15          | 7     | 15      | —      | —       | —         | 6       | 10           | 15     | 0,57             | 45      |
|          | —            | — | —             | 18            | —                 | —           | 45    | —       | —      | —       | —         | —       | 12           | —      | —                | —       |
| 0,7      | 5            | — | 5             | 20            | 0,4               | 15          | 8     | 15      | —      | —       | —         | 7       | 10           | 16     | 0,64             | 49      |
|          | —            | — | —             | 24            | —                 | —           | 52    | —       | —      | —       | —         | —       | 14           | —      | —                | —       |



Число панелей . . . . .  $N = 8$   
 Высота фермы . . . . .  $H = 186$  см  
 Ступень подпояс . . . . .  $f = 6$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1149$  »

$L = 12,5$  м

Таблица 53

| Нагрузка | Верхний пояс |   |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |       |        | Решетка |         |           |        |      | Опорные узлы |        | Расход материала |    |    |    |      |     |
|----------|--------------|---|---------------|-------------------|-------------|-------|--------|---------|---------|-----------|--------|------|--------------|--------|------------------|----|----|----|------|-----|
|          | Размеры      |   |               |                   | Высота      | Стыки | Ширина | Нашивки |         | Гвозди    |        | Тяжи | Врубни       | Дерево | Сталь 3          |    |    |    |      |     |
|          | a            | b | $\frac{h}{r}$ |                   |             |       |        | Ширина  | Толщина | В решетке | В улах |      |              |        |                  |    |    |    |      |     |
| 0,4      | 5            | — | 3             | 15                | 16          | 48    | 0,2    | 13      | 5       | 36        | 13     | —    | —            | —      | 4                | 8  | 12 | 13 | 0,60 | 38  |
| 0,5      | 6            | — | 3             | 15                | 16          | 51    | 0,3    | 14      | 6       | 35        | 14     | —    | —            | —      | 5                | 10 | 14 | 14 | 0,75 | 50  |
| 0,6      | 6            | — | 3             | 15                | 16          | 62    | 0,4    | 15      | 7       | 42        | 15     | —    | —            | —      | 6                | 10 | 14 | 15 | 0,78 | 57  |
| 0,7      | 6            | — | 4             | 20                | 14          | 62    | 0,4    | 13      | 8       | 48        | 13     | —    | —            | —      | 7                | 12 | 16 | 15 | 0,85 | 63  |
| 0,8      | 6            | — | 4             | 20                | 14          | 72    | 0,5    | 15      | 10      | 55        | 15     | —    | —            | —      | 7                | 12 | 16 | 16 | 0,91 | 71  |
| 0,9      | 7            | — | 4             | 20                | 14          | 86    | 0,5    | 13      | 6       | 62        | 13     | —    | —            | —      | 8                | 12 | 18 | 15 | 0,99 | 78  |
| 1,0      | 7            | — | 4             | 20                | 14          | 92    | 0,6    | 15      | 7       | 69        | 15     | —    | —            | —      | 9                | 14 | 18 | 16 | 1,07 | 89  |
| 1,1      | 7            | — | 4             | 20                | 18          | 100   | 0,7    | 15      | 8       | 75        | 15     | —    | —            | —      | 10               | 14 | 18 | 17 | 1,07 | 94  |
| 1,2      | 7            | — | 5             | 25                | 114         | 60    | 0,8    | 16      | 8       | 83        | 15     | —    | —            | —      | 11               | 14 | 20 | 19 | 1,19 | 102 |
| 1,3      | 7            | — | 5             | 25                | 124         | 65    | 0,9    | 17      | 9       | 90        | 16     | —    | —            | —      | 12               | 14 | 20 | 21 | 1,23 | 111 |
| 1,5      | 6            | 6 | 4             | 20                | 21          | 182   | 1,0    | 16      | 12      | 0         | 13     | —    | —            | 5      | 14               | 12 | 18 | 17 | 1,54 | 128 |
| 1,7      | 7            | 7 | 4             | 20                | 21          | 192   | 1,1    | 16      | 8       | 0         | 13     | —    | —            | 4      | 16               | 14 | 20 | 17 | 1,82 | 164 |



Число панелей . . . . . 8  
 Высота фермы . . . . .  $H = 200$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 7$  ‰  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1239$  ‰

$L = 13.5$  м

Таблица 54



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |          | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------------|-------------------|-------------|----------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Число гвоздей |                   | Высота      | Стыки    | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ |               |                   |             |          |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В углах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 6            | — | 15<br>3       | 16<br>44      | 0,2               | 12          | 5<br>80  | 10      | —       | —       | —         | 4       | 8<br>12      | 13     | 0,73              | 41      |
| 0,5      | 6            | — | 15<br>3       | 16<br>60      | 0,3               | 14          | 7<br>37  | 14      | —       | —       | —         | 5       | 10<br>14     | 14     | 0,82              | 54      |
| 0,6      | 6            | — | 20<br>4       | 14<br>62      | 0,4               | 15          | 8<br>45  | 15      | —       | —       | —         | 6       | 12<br>14     | 15     | 0,98              | 62      |
| 0,7      | 6            | — | 20<br>4       | 14<br>77      | 0,4               | 16          | 9<br>52  | 16      | —       | —       | —         | 7       | 12<br>16     | 17     | 1,01              | 70      |
| 0,8      | 7            | — | 20<br>4       | 14<br>87      | 0,5               | 13          | 6<br>60  | 13      | —       | —       | —         | 8       | 12<br>16     | 15     | 1,07              | 76      |
| 0,9      | 7            | — | 20<br>4       | 14<br>102     | 0,5               | 15          | 7<br>67  | 15      | —       | —       | —         | 9       | 12<br>18     | 16     | 1,16              | 88      |
| 1,0      | 7            | — | 25<br>5       | 112<br>59     | 0,6               | 15          | 8<br>74  | 15      | —       | —       | —         | 10      | 14<br>18     | 18     | 1,24              | 98      |
| 1,1      | 7            | — | 25<br>5       | 125<br>65     | 0,7               | 17          | 8<br>82  | 17      | —       | —       | —         | 11      | 14<br>20     | 20     | 1,34              | 107     |
| 1,2      | 7            | — | 25<br>5       | 136<br>71     | 0,8               | 18          | 9<br>89  | 18      | —       | —       | —         | 12      | 14<br>20     | 21     | 1,37              | 113     |
| 1,3      | 7            | — | 30<br>5       | 107<br>63     | 0,9               | 20          | 10<br>97 | 20      | —       | —       | —         | 13      | 16<br>22     | 23     | 1,58              | 130     |
| 1,5      | 6            | 6 | 25<br>5       | 161<br>118    | 1,0               | 16          | 13<br>0  | 10      | —       | —       | 3         | 16      | 14<br>18     | 19     | 1,71              | 143     |
| 1,7      | 6            | 6 | 25<br>5       | 183<br>135    | 1,1               | 18          | 15<br>0  | 13      | —       | —       | 4         | 18      | 14<br>20     |        | 1,89              | 165     |

|     |   |   |    |     |     |    |     |    |   |   |   |   |   |    |    |    |    |      |      |    |
|-----|---|---|----|-----|-----|----|-----|----|---|---|---|---|---|----|----|----|----|------|------|----|
| 0.8 | 6 | — | 20 | 14  | 0.3 | 15 | 11  | 13 | — | — | — | — | — | —  | —  | 7  | 12 | 16   | 1.05 | 81 |
|     |   |   | 4  | 70  | 0.4 | 16 | 61  | 13 | — | — | — | — | — | —  | —  | 8  | 18 | 17   | 1.06 | 82 |
|     |   |   |    |     | 0.5 | 18 | 15  | 15 | — | — | — | — | — | —  | —  | 9  |    | 18   | 1.13 | 83 |
| 0.9 | 7 | — | 20 | 14  | 0.3 | 15 | 7   | 13 | — | — | — | — | — | —  | 7  | 14 | 16 | 1.22 | 91   |    |
|     |   |   | 4  | 77  | 0.4 | 16 | 69  | 13 | — | — | — | — | — | —  | 8  | 18 | 17 | 1.25 | 92   |    |
|     |   |   |    |     | 0.5 | 17 | 15  | 15 | — | — | — | — | — | —  | 9  |    | 17 | 1.30 | 92   |    |
| 1.0 | 7 | — | 20 | 14  | 0.4 | 17 | 8   | 15 | — | — | — | — | — | 9  | 14 | 18 | 18 | 1.30 | 104  |    |
|     |   |   | 4  | 92  | 0.5 | 18 | 77  | 15 | — | — | — | — | — | 10 | 20 | 18 | 18 | 1.33 | 104  |    |
|     |   |   |    |     | 0.6 | 19 | 18  | 18 | — | — | — | — | — | 11 |    | 19 |    | 1.39 | 107  |    |
| 1.1 | 7 | — | 25 | 102 | 0.5 | 18 | 8   | 13 | — | — | — | — | — | 10 | 14 | 20 | 20 | 1.41 | 108  |    |
|     |   |   | 5  | 52  | 0.6 | 19 | 84  | 15 | — | — | — | — | — | 11 | 20 | 20 | 20 | 1.45 | 111  |    |
|     |   |   |    |     | 0.7 | 20 | 15  | 15 | — | — | — | — | — | 12 |    | 21 |    | 1.46 | 111  |    |
| 1.2 | 7 | — | 25 | 110 | 0.6 | 20 | 9   | 15 | — | — | — | — | — | 12 | 16 | 22 | 22 | 1.49 | 124  |    |
|     |   |   | 5  | 58  | 0.7 | 21 | 92  | 15 | — | — | — | — | — | 12 | 20 | 22 | 22 | 1.52 | 126  |    |
|     |   |   |    |     | 0.8 | 22 | 18  | 18 | — | — | — | — | — | 14 |    | 22 |    | 1.60 | 128  |    |
| 1.3 | 7 | — | 25 | 120 | 0.7 | 23 | 10  | 18 | — | — | — | — | — | 13 | 24 | 24 | 24 | 1.62 | 138  |    |
|     |   |   | 5  | 66  | 0.8 | 24 | 100 | 18 | — | — | — | — | — | 14 | 22 | 24 | 24 | 1.65 | 140  |    |
|     |   |   |    |     | 0.9 | 25 | 20  | 20 | — | — | — | — | — | 16 |    | 25 |    | 1.71 | 144  |    |
| 1.5 | 7 | — | 30 | 101 | 0.8 | 26 | 11  | 20 | — | — | — | — | — | 16 | 18 | 26 | 26 | 1.89 | 156  |    |
|     |   |   | 5  | 59  | 0.9 | 26 | 115 | 20 | — | — | — | — | — | 16 | 24 | 26 | 26 | 1.89 | 156  |    |
|     |   |   |    |     | 1.0 | 26 | 22  | 22 | — | — | — | — | — | 18 |    | 26 |    | 1.92 | 157  |    |
| 1.7 | 6 | 6 | 25 | 152 | 0.8 | 20 | 15  | 10 | — | — | — | — | — | 16 | 14 | 22 | 22 | 1.99 | 171  |    |
|     |   |   | 5  | 112 | 0.9 | 21 | 0   | 13 | — | — | — | — | — | 18 | 20 | 22 | 22 | 2.11 | 175  |    |
|     |   |   |    |     | 1.1 | 22 | 13  | 13 | — | — | — | — | — | 20 |    | 22 |    | 2.14 | 177  |    |

Число панелей . . . . .  $N = 10$   
 Высота фермы . . . . .  $H = 214$  см  
 Стропил. длина . . . . .  $f = 7$  м  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1335$  м

$L = 14,5$  м



Таблица 55

| Нагрузка | Верхний пояс |               |     | Число гвоздей | Снеговая нагрузка |    |    | Нижний пояс |        | Решетка |    |         |           |         | Опорные узлы |      | Расход материалов |        |
|----------|--------------|---------------|-----|---------------|-------------------|----|----|-------------|--------|---------|----|---------|-----------|---------|--------------|------|-------------------|--------|
|          | Размеры      |               |     |               | Высота            |    |    | Стыки       | Ширина | Нашивки |    | Толщина | В решетке | Тростки | В улах       | Тяжи | Врубки            | Дерево |
| $a$      | $b$          | $\frac{h}{n}$ | 0,1 | 0,15          | 0,2               | 12 | 12 |             |        | 12      | 10 |         |           |         |              |      |                   |        |
| 0,4      | 5            | —             | 3   | 15            | 14                | 48 | 12 | 6           | 10     | —       | —  | —       | —         | 4       | 10           | 12   | 0,68              | 41     |
|          |              |               |     | 15            | 14                | 48 | 12 | 40          | 10     | —       | —  | —       | —         | 4       | 12           | 12   | 0,68              | 41     |
|          |              |               |     | 15            | 14                | 48 | 12 | 12          | 10     | —       | —  | —       | —         | 5       | 12           | 12   | 0,68              | 43     |
| 0,5      | 6            | —             | 3   | 15            | 14                | 48 | 12 | 7           | 10     | —       | —  | —       | —         | 4       | 10           | 12   | 0,79              | 53     |
|          |              |               |     | 15            | 14                | 48 | 12 | 38          | 14     | —       | —  | —       | —         | 5       | 14           | 14   | 0,89              | 56     |
|          |              |               |     | 15            | 14                | 48 | 12 | 14          | 14     | —       | —  | —       | —         | 5       | 14           | 14   | 0,89              | 56     |
| 0,6      | 6            | —             | 4   | 20            | 14                | 46 | 12 | 8           | 10     | —       | —  | —       | —         | 5       | 12           | 15   | 0,93              | 61     |
|          |              |               |     | 20            | 14                | 46 | 12 | 46          | 10     | —       | —  | —       | —         | 6       | 15           | 15   | 0,93              | 62     |
|          |              |               |     | 20            | 14                | 46 | 12 | 14          | 13     | —       | —  | —       | —         | 7       | 16           | 16   | 1,02              | 64     |
| 0,7      | 6            | —             | 4   | 20            | 14                | 58 | 13 | 10          | 10     | —       | —  | —       | —         | 5       | 12           | 15   | 0,96              | 69     |
|          |              |               |     | 20            | 14                | 58 | 13 | 54          | 10     | —       | —  | —       | —         | 6       | 15           | 15   | 0,96              | 70     |
|          |              |               |     | 20            | 14                | 58 | 13 | 13          | 13     | —       | —  | —       | —         | 7       | 16           | 16   | 1,04              | 71     |

Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 229$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 8$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1426$  »

$L = 15,5$  м

Таблица 56



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |        | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |      |     |
|----------|--------------|---|---------------|---------------|-------------------|-------------|--------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|------|-----|
|          | Размеры      |   |               | Число гвоздей |                   | Высота      | Стяжки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Гляни        | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |      |     |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ |               |                   |             |        |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |      |     |
| 0,4      | 6            | — | 15            | 16            | 0,1               | 12          | 6      | 10      | —       | —       | —         | 3       | 10           | 12     | 0,84              | 48      |      |     |
|          |              |   | 3             | 40            | 0,15              | 12          |        | 33      | 10      | —       | —         | —       |              | 4      | 14                | 12      | 0,84 | 49  |
|          |              |   | 3             | 40            | 0,2               | 12          |        | 33      | 10      | —       | —         | —       |              | 4      | 14                | 12      | 0,84 | 49  |
| 0,5      | 6            | — | 15            | 16            | 0,2               | 14          | 7      | 14      | —       | —       | —         | 5       | 10           | 14     | 0,95              | 57      |      |     |
|          |              |   | 3             | 54            | 0,25              | 14          |        | 41      | 14      | —       | —         | —       |              | 5      | 14                | 14      | 0,95 | 57  |
|          |              |   | 3             | 54            | 0,3               | 15          |        | 41      | 15      | —       | —         | —       |              | 6      | 14                | 15      | 0,99 | 60  |
| 0,6      | 6            | — | 20            | 14            | 0,2               | 12          | 9      | 10      | —       | —       | —         | 5       | 12           | 15     | 1,00              | 66      |      |     |
|          |              |   | 4             | 56            | 0,3               | 13          |        | 49      | 10      | —       | —         | —       |              | 6      | 16                | 15      | 1,02 | 68  |
|          |              |   | 4             | 56            | 0,4               | 14          |        | 49      | 13      | —       | —         | —       |              | 7      | 16                | 16      | 1,09 | 69  |
| 0,7      | 6            | — | 20            | 14            | 0,2               | 13          | 10     | 10      | —       | —       | —         | 6       | 12           | 15     | 1,02              | 74      |      |     |
|          |              |   | 4             | 70            | 0,3               | 15          |        | 58      | 13      | —       | —         | —       |              | 7      | 16                | 16      | 1,11 | 75  |
|          |              |   | 4             | 70            | 0,4               | 16          |        | 58      | 13      | —       | —         | —       |              | 8      | 16                | 17      | 1,13 | 75  |
| 0,8      | 7            | — | 20            | 14            | 0,3               | 14          | 7      | 13      | —       | —       | —         | 7       | 12           | 15     | 1,23              | 86      |      |     |
|          |              |   | 4             | 79            | 0,4               | 15          |        | 65      | 13      | —       | —         | —       |              | 8      | 18                | 15      | 1,30 | 87  |
|          |              |   | 4             | 79            | 0,5               | 16          |        | 65      | 15      | —       | —         | —       |              | 9      | 18                | 16      | 1,37 | 87  |
| 0,9      | 7            | — | 20            | 14            | 0,3               | 16          | 8      | 13      | —       | —       | —         | 8       | 14           | 17     | 1,33              | 98      |      |     |
|          |              |   | 4             | 93            | 0,4               | 17          |        | 74      | 15      | —       | —         | —       |              | 9      | 18                | 17      | 1,39 | 99  |
|          |              |   | 4             | 93            | 0,5               | 18          |        | 74      | 15      | —       | —         | —       |              | 10     | 18                | 18      | 1,42 | 100 |
| 1,0      | 7            | — | 25            | 106           | 0,4               | 17          | 8      | 13      | —       | —       | —         | 9       | 14           | 19     | 1,48              | 109     |      |     |
|          |              |   | 5             | 56            | 0,5               | 18          |        | 82      | 13      | —       | —         | —       |              | 10     | 20                | 19      | 1,51 | 109 |
|          |              |   | 5             | 56            | 0,6               | 20          |        | 82      | 15      | —       | —         | —       |              | 12     | 20                | 21      | 1,58 | 111 |
| 1,1      | 7            | — | 25            | 116           | 0,5               | 20          | 9      | 15      | —       | —       | —         | 11      | 16           | 21     | 1,60              | 125     |      |     |
|          |              |   | 5             | 61            | 0,6               | 20          |        | 90      | 15      | —       | —         | —       |              | 12     | 22                | 22      | 1,60 | 126 |
|          |              |   | 5             | 61            | 0,7               | 22          |        | 90      | 18      | —       | —         | —       |              | 14     | 22                | 23      | 1,70 | 128 |
| 1,2      | 7            | — | 25            | 126           | 0,6               | 22          | 10     | 15      | —       | —       | —         | 12      | 16           | 22     | 1,65              | 134     |      |     |
|          |              |   | 5             | 66            | 0,7               | 23          |        | 98      | 18      | —       | —         | —       |              | 14     | 22                | 23      | 1,73 | 136 |
|          |              |   | 5             | 66            | 0,8               | 24          |        | 98      | 20      | —       | —         | —       |              | 15     | 22                | 24      | 1,80 | 136 |
| 1,3      | 7            | — | 30            | 100           | 0,7               | 24          | 11     | 18      | —       | —       | —         | 14      | 16           | 24     | 1,90              | 148     |      |     |
|          |              |   | 5             | 58            | 0,8               | 25          |        | 107     | 20      | —       | —         | —       |              | 16     | 22                | 25      | 1,99 | 152 |
|          |              |   | 5             | 58            | 0,9               | 26          |        | 107     | 20      | —       | —         | —       |              | 16     | 22                | 26      | 2,02 | 152 |
| 1,5      | 6            | 6 | 25            | 151           | 0,8               | 21          | 14     | 13      | —       | —       | 3         | 18      | 14           | 21     | 2,27              | 172     |      |     |
|          |              |   | 5             | 113           | 0,9               | 22          |        | 0       | 13      | —       | —         | 3       |              | 18     | 20                | 22      | 2,30 | 173 |
|          |              |   | 5             | 113           | 1,0               | 22          |        | 0       | 13      | —       | —         | 3       |              | 20     | 20                | 22      | 2,30 | 173 |
| 1,7      | 6            | 6 | 25            | 170           | 0,8               | 22          | 16     | 13      | —       | —       | 4         | 18      | 16           | 23     | 2,32              | 198     |      |     |
|          |              |   | 5             | 127           | 0,9               | 23          |        | 0       | 13      | —       | —         | 4       |              | 20     | 20                | 23      | 2,35 | 202 |
|          |              |   | 5             | 127           | 1,1               | 24          |        | 0       | 15      | —       | —         | 4       |              | 22     | 22                | 24      | 2,46 | 204 |

Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 244$  см  
 Стропил. полет . . . . .  $f = 8$  м  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1517$  м

$L = 16,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |               |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |       |        | Решетка |         |        |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |           |         |
|----------|--------------|---------------|---------------|-------------------|-------------|-------|--------|---------|---------|--------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|-----------|---------|
|          | Размеры      |               |               |                   | Высота      | Стыки | Ширина | Нашивки |         | Гвозди | В уалах | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |           |         |
| a        | b            | $\frac{h}{n}$ | Число гвоздей | Ширина            |             |       |        | Ширина  | Толщина |        |         |              |        |                   |         | В решетке | В уалах |
| 0,4      | 6            | —             | 15            | 16                | 0,1         | 12    | 6      | 10      | —       | —      | —       | —            | 4      | 10                | 12      | 0,90      | 56      |
|          |              |               |               |                   | 0,15        | 12    | 35     | 10      | —       | —      | —       | 4            | 14     | 12                | 0,90    | 56        |         |
| 0,5      | 6            | —             | 20            | 16                | 0,2         | 12    | 8      | 10      | —       | —      | —       | —            | 5      | 10                | 14      | 1,06      | 64      |
|          |              |               |               |                   | 0,25        | 12    | 44     | 10      | —       | —      | —       | 6            | 14     | 14                | 1,06    | 65        |         |
| 0,6      | 6            | —             | 20            | 18                | 0,3         | 12    | 9      | 10      | —       | —      | —       | —            | 6      | 12                | 15      | 1,09      | 77      |
|          |              |               |               |                   | 0,3         | 14    | 53     | 10      | —       | —      | —       | 6            | 16     | 16                | 1,12    | 78        |         |
| 0,7      | 7            | —             | 20            | 18                | 0,4         | 15    | 61     | 13      | —       | —      | —       | —            | 8      | 18                | 15      | 1,37      | 92      |
|          |              |               |               |                   | 0,4         | 15    | 61     | 12      | —       | —      | —       | 8            | 15     | 15                | 1,37    | 92        |         |
| 0,8      | 7            | —             | 20            | 16                | 0,3         | 15    | 7      | 12      | —       | —      | —       | —            | 8      | 14                | 16      | 1,38      | 105     |
|          |              |               |               |                   | 0,4         | 16    | 70     | 14      | —       | —      | —       | 9            | 17     | 17                | 1,45    | 106       |         |
| 0,9      | 7            | —             | 25            | 110               | 0,5         | 17    | 8      | 13      | —       | —      | —       | —            | 10     | 17                | 17      | 1,50      | 109     |
|          |              |               |               |                   | 0,5         | 17    | 78     | 13      | —       | —      | —       | 10           | 17     | 17                | 1,50    | 109       |         |
| 1,0      | 7            | —             | 25            | 122               | 0,3         | 15    | 9      | 10      | —       | —      | —       | —            | 8      | 14                | 17      | 1,47      | 117     |
|          |              |               |               |                   | 0,4         | 18    | 9      | 13      | —       | —      | —       | 9            | 19     | 19                | 1,58    | 117       |         |
| 1,1      | 7            | —             | 30            | 100               | 0,5         | 21    | 10     | 15      | —       | —      | —       | —            | 12     | 20                | 20      | 1,62      | 118     |
|          |              |               |               |                   | 0,6         | 22    | 96     | 15      | —       | —      | —       | 11           | 21     | 21                | 1,69    | 132       |         |
| 1,2      | 6            | 6             | 25            | 139               | 0,6         | 17    | 12     | 10      | —       | —      | —       | —            | 14     | 23                | 22      | 1,72      | 138     |
|          |              |               |               |                   | 0,7         | 18    | 0      | 10      | —       | —      | —       | 10           | 20     | 20                | 1,84    | 129       |         |
| 1,3      | 6            | 6             | 25            | 150               | 0,6         | 17    | 12     | 10      | —       | —      | —       | —            | 14     | 23                | 22      | 1,72      | 138     |
|          |              |               |               |                   | 0,7         | 18    | 0      | 10      | —       | —      | —       | 10           | 20     | 20                | 1,84    | 129       |         |
| 1,5      | 6            | 6             | 25            | 175               | 0,8         | 21    | 15     | 13      | —       | —      | —       | —            | 16     | 25                | 24      | 1,98      | 146     |
|          |              |               |               |                   | 0,9         | 22    | 0      | 13      | —       | —      | —       | 13           | 24     | 24                | 2,01    | 147       |         |
| 1,7      | 6            | 6             | 80            | 142               | 0,8         | 24    | 17     | 13      | —       | —      | —       | —            | 18     | 28                | 27      | 2,22      | 175     |
|          |              |               |               |                   | 0,9         | 24    | 0      | 13      | —       | —      | —       | 16           | 28     | 28                | 2,42    | 179       |         |

Таблица 58

Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 259$  см  
 Стрелит. подъем . . . . .  $f = 9$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1608$  »

$L = 17,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |    |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |        | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |     |
|----------|--------------|---|----|---------------|-------------------|-------------|--------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|-----|
|          | Размеры      |   |    | Число гвоздей |                   | Высота      | Стычки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |     |
|          | a            | b | h  |               |                   |             |        |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |     |
| 0,4      | 6            | — | 15 | 18            | 0,1               | 12          | 7      | 10      | —       | —       | —         | 4       | 10           | 12     | 0,96              | 60      |     |
|          |              |   |    | 56            | 0,15              | 12          |        | 10      | —       | —       | —         | 4       |              | 14     | 12                | 0,96    | 60  |
|          |              |   |    |               | 0,2               | 14          |        | 14      | —       | —       | —         | 5       |              | 14     | 1,08              | 62      |     |
| 0,5      | 6            | — | 20 | 16            | 0,2               | 12          | 8      | 10      | —       | —       | —         | 5       | 12           | 15     | 1,13              | 69      |     |
|          |              |   |    | 61            | 0,25              | 12          |        | 10      | —       | —       | —         | 6       |              | 15     | 1,13              | 69      |     |
|          |              |   |    |               | 0,3               | 14          |        | 13      | —       | —       | —         | 7       |              | 16     | 1,23              | 72      |     |
| 0,6      | 7            | — | 20 | 16            | 0,2               | 12          | 6      | 10      | —       | —       | —         | 6       | 12           | 14     | 1,31              | 82      |     |
|          |              |   |    | 75            | 0,3               | 14          |        | 13      | —       | —       | —         | 7       |              | 14     | 1,44              | 85      |     |
|          |              |   |    |               | 0,4               | 14          |        | 13      | —       | —       | —         | 8       |              | 14     | 1,44              | 86      |     |
| 0,7      | 7            | — | 20 | 16            | 0,2               | 13          | 7      | 12      | —       | —       | —         | 7       | 12           | 15     | 1,40              | 98      |     |
|          |              |   |    | 92            | 0,3               | 15          |        | 12      | —       | —       | —         | 8       |              | 16     | 1,46              | 101     |     |
|          |              |   |    |               | 0,4               | 16          |        | 14      | —       | —       | —         | 9       |              | 18     | 1,53              | 102     |     |
| 0,8      | 7            | — | 25 | 111           | 0,3               | 15          | 8      | 10      | —       | —       | —         | 8       | 14           | 18     | 1,56              | 115     |     |
|          |              |   |    | 59            | 0,4               | 16          |        | 13      | —       | —       | —         | 9       |              | 18     | 1,65              | 116     |     |
|          |              |   |    |               | 0,5               | 17          |        | 13      | —       | —       | —         | 10      |              | 19     | 1,68              | 118     |     |
| 0,9      | 7            | — | 25 | 126           | 0,3               | 16          | 8      | 10      | —       | —       | —         | 8       | 14           | 19     | 1,59              | 122     |     |
|          |              |   |    | 66            | 0,4               | 18          |        | 13      | —       | —       | —         | 10      |              | 20     | 1,71              | 126     |     |
|          |              |   |    |               | 0,5               | 19          |        | 15      | —       | —       | —         | 11      |              | 20     | 1,76              | 129     |     |
| 1,0      | 7            | — | 25 | 139           | 0,4               | 19          | 9      | 13      | —       | —       | —         | 10      | 16           | 21     | 1,74              | 155     |     |
|          |              |   |    | 73            | 0,5               | 20          |        | 15      | —       | —       | —         | 12      |              | 22     | 1,81              | 157     |     |
|          |              |   |    |               | 0,6               | 22          |        | 18      | —       | —       | —         | 13      |              | 24     | 1,94              | 160     |     |
| 1,1      | 7            | — | 30 | 112           | 0,5               | 22          | 10     | 15      | —       | —       | —         | 12      | 16           | 24     | 2,06              | 167     |     |
|          |              |   |    | 66            | 0,6               | 24          |        | 18      | —       | —       | —         | 14      |              | 22     | 2,18              | 171     |     |
|          |              |   |    |               | 0,7               | 24          |        | 20      | —       | —       | —         | 15      |              | 24     | 2,22              | 171     |     |
| 1,2      | 6            | 6 | 25 | 157           | 0,6               | 18          | 13     | 10      | —       | —       | 3         | 16      | 14           | 18     | 2,36              | 177     |     |
|          |              |   |    | 118           | 0,7               | 18          |        | 10      | —       | —       | 3         | 16      |              | 20     | 18                | 2,36    | 177 |
|          |              |   |    |               | 0,8               | 19          |        | 13      | —       | —       | 3         | 18      |              | 19     | 2,52              | 181     |     |
| 1,3      | 6            | 6 | 25 | 170           | 0,7               | 19          | 14     | 10      | —       | —       | 4         | 16      | 14           | 20     | 2,40              | 188     |     |
|          |              |   |    | 128           | 0,8               | 21          |        | 13      | —       | —       | 4         | 18      |              | 20     | 21                | 2,61    | 192 |
|          |              |   |    |               | 0,9               | 22          |        | 13      | —       | —       | 4         | 20      |              | 22     | 2,55              | 193     |     |
| 1,5      | 6            | 6 | 30 | 144           | 0,8               | 22          | 16     | 13      | —       | —       | 4         | 18      | 16           | 24     | 2,89              | 221     |     |
|          |              |   |    | 124           | 0,9               | 23          |        | 13      | —       | —       | 4         | 20      |              | 20     | 25                | 2,93    | 226 |
|          |              |   |    |               | 1,0               | 23          |        | 13      | —       | —       | 4         | 20      |              | 20     | 25                | 2,93    | 26  |
| 1,7      | 7            | 7 | 25 | 208           | 0,8               | 21          | 10     | 13      | —       | —       | 3         | 18      | 16           | 23     | 3,04              | 248     |     |
|          |              |   |    | 144           | 0,9               | 22          |        | 13      | —       | —       | 3         | 20      |              | 20     | 23                | 3,09    | 250 |
|          |              |   |    |               | 1,1               | 24          |        | 15      | —       | —       | 3         | 24      |              | 22     | 24                | 3,28    | 267 |



Таблица 60

Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 335$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 10$  \*  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1596$  \*

$L = 19,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |               |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |       | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|---|---------------|---------------|-------------------|-------------|-------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |   |               | Число гвоздей |                   | Высота      | Стыки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Гляни        | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b | $\frac{h}{n}$ |               |                   |             |       |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В углах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 7            | — | 15            | 20            | 0,1               | 15          | 4     | 10      | —       | —       | —         | 4       | 10           | 15     | 1,86              | 72      |
|          |              |   | 3             | 69            | 0,15              | 15          | 35    | 10      | —       | —       | —         | 4       | 14           | 15     | 1,36              | 72      |
|          |              |   | 3             | 69            | 0,2               | 15          | 35    | 14      | —       | —       | —         | 5       | 15           | 15     | 1,47              | 72      |
| 0,5      | 6            | — | 20            | 18            | 0,2               | 15          | 8     | 12      | —       | —       | —         | 5       | 12           | 16     | 1,41              | 79      |
|          |              |   | 4             | 80            | 0,25              | 15          | 44    | 12      | —       | —       | —         | 6       | 14           | 16     | 1,41              | 80      |
|          |              |   | 4             | 80            | 0,3               | 15          | 44    | 12      | —       | —       | —         | 6       | 16           | 16     | 1,41              | 80      |
| 0,6      | 7            | — | 20            | 18            | 0,2               | 15          | 5     | 10      | —       | —       | —         | 6       | 12           | 16     | 1,60              | 92      |
|          |              |   | 4             | 94            | 0,3               | 15          | 53    | 13      | —       | —       | —         | 7       | 16           | 16     | 1,67              | 92      |
|          |              |   | 4             | 94            | 0,4               | 15          | 53    | 13      | —       | —       | —         | 8       | 16           | 16     | 1,67              | 93      |
| 0,7      | 7            | — | 25            | 120           | 0,2               | 15          | 6     | 10      | —       | —       | —         | 7       | 12           | 17     | 1,75              | 105     |
|          |              |   | 5             | 63            | 0,3               | 15          | 62    | 10      | —       | —       | —         | 8       | 18           | 17     | 1,75              | 106     |
|          |              |   | 5             | 63            | 0,4               | 15          | 62    | 13      | —       | —       | —         | 9       | 17           | 17     | 1,83              | 107     |
| 0,8      | 7            | — | 25            | 136           | 0,3               | 15          | 7     | 10      | —       | —       | —         | 8       | 14           | 18     | 1,77              | 120     |
|          |              |   | 5             | 72            | 0,4               | 15          | 70    | 10      | —       | —       | —         | 8       | 18           | 18     | 1,77              | 120     |
|          |              |   | 5             | 72            | 0,5               | 18          | 70    | 15      | —       | —       | —         | 11      | 19           | 19     | 1,99              | 124     |
| 0,9      | 7            | — | 30            | 112           | 0,3               | 17          | 8     | 13      | —       | —       | —         | 9       | 14           | 19     | 2,11              | 134     |
|          |              |   | 5             | 66            | 0,4               | 17          | 79    | 13      | —       | —       | —         | 10      | 20           | 19     | 2,11              | 135     |
|          |              |   | 5             | 66            | 0,5               | 19          | 79    | 15      | —       | —       | —         | 12      | 21           | 21     | 2,22              | 139     |
| 1,0      | 6            | 6 | 20            | 27            | 0,4               | 15          | 10    | 10      | —       | —       | 3         | 12      | 12           | 17     | 2,36              | 157     |
|          |              |   | 4             | 208           | 0,5               | 15          | 0     | 10      | —       | —       | 3         | 12      | 18           | 17     | 2,36              | 157     |
|          |              |   | 4             | 208           | 0,6               | 17          | 0     | 13      | —       | —       | 3         | 14      | 17           | 17     | 2,58              | 161     |
| 1,1      | 6            | 6 | 25            | 176           | 0,5               | 16          | 11    | 10      | —       | —       | 3         | 14      | 12           | 18     | 2,58              | 170     |
|          |              |   | 5             | 132           | 0,6               | 16          | 0     | 10      | —       | —       | 3         | 14      | 18           | 18     | 2,58              | 170     |
|          |              |   | 5             | 132           | 0,7               | 17          | 0     | 10      | —       | —       | 3         | 16      | 19           | 19     | 2,63              | 174     |
| 1,3      | 6            | 6 | 25            | 194           | 0,6               | 17          | 12    | 10      | —       | —       | 3         | 16      | 14           | 19     | 2,63              | 184     |
|          |              |   | 5             | 145           | 0,7               | 18          | 0     | 10      | —       | —       | 3         | 16      | 18           | 19     | 2,63              | 184     |
|          |              |   | 5             | 145           | 0,8               | 18          | 0     | 10      | —       | —       | 3         | 18      | 18           | 19     | 2,67              | 184     |
| 1,3      | 6            | 6 | 25            | 208           | 0,7               | 20          | 13    | 13      | —       | —       | 3         | 18      | 14           | 20     | 2,92              | 203     |
|          |              |   | 5             | 156           | 0,8               | 20          | 0     | 13      | —       | —       | 3         | 18      | 20           | 20     | 2,92              | 203     |
|          |              |   | 5             | 156           | 0,9               | 21          | 0     | 13      | —       | —       | 3         | 20      | 20           | 21     | 2,95              | 208     |
| 1,5      | 6            | 6 | 30            | 176           | 0,8               | 22          | 15    | 13      | —       | —       | 3         | 20      | 14           | 22     | 3,30              | 224     |
|          |              |   | 5             | 149           | 0,9               | 22          | 0     | 13      | —       | —       | 3         | 20      | 20           | 22     | 3,30              | 224     |
|          |              |   | 5             | 149           | 1,0               | 23          | 0     | 15      | —       | —       | 3         | 22      | 23           | 23     | 3,45              | 229     |
| 1,7      | 7            | 7 | 30            | 187           | 0,8               | 21          | 10    | 13      | —       | —       | 3         | 20      | 16           | 24     | 3,81              | 267     |
|          |              |   | 5             | 144           | 0,9               | 22          | 0     | 13      | —       | —       | 3         | 20      | 22           | 24     | 3,86              | 267     |
|          |              |   | 5             | 144           | 1,1               | 23          | 0     | 15      | —       | —       | 3         | 24      | 22           | 24     | 4,03              | 274     |



Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 352$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 10$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1668$  »

$L = 20,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |                 |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |        | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |     |
|----------|--------------|---|-----------------|---------------|-------------------|-------------|--------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|-----|
|          | Размеры      |   |                 | Число гвоздей |                   | Высота      | Стяжки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |     |
|          | a            | b | $\frac{h}{\pi}$ |               |                   |             |        |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |     |
| 0,4      | 7            | — | 15              | 20            | 0,1               | 15          | 4      | 10      | —       | —       | —         | 4       | 10           | 15     | 1,45              | 74      |     |
|          |              |   |                 | 78            | 0,15              | 15          | 37     | 10      | —       | —       | —         | 4       |              | 14     | 15                | 1,45    | 74  |
|          |              |   |                 |               | 0,2               | 15          |        | 14      | —       | —       | —         | 5       |              |        | 15                | 1,56    | 75  |
| 0,5      | 7            | — | 20              | 18            | 0,2               | 15          | 5      | 10      | —       | —       | —         | 6       | 12           | 15     | 1,67              | 89      |     |
|          |              |   |                 | 86            | 0,25              | 15          | 46     | 10      | —       | —       | —         | 6       |              | 16     | 15                | 1,67    | 89  |
|          |              |   |                 |               | 0,3               | 15          |        | 12      | —       | —       | —         | 7       |              |        | 15                | 1,76    | 90  |
| 0,6      | 7            | — | 20              | 18            | 0,2               | 15          | 6      | 10      | —       | —       | —         | 6       | 12           | 16     | 1,68              | 99      |     |
|          |              |   |                 | 109           | 0,3               | 15          | 55     | 13      | —       | —       | —         | 8       |              | 16     | 16                | 1,76    | 101 |
|          |              |   |                 |               | 0,4               | 15          |        | 15      | —       | —       | —         | 9       |              |        | 16                | 1,81    | 101 |
| 0,7      | 7            | — | 25              | 133           | 0,2               | 15          | 7      | 12      | —       | —       | —         | 8       | 12           | 17     | 1,80              | 115     |     |
|          |              |   |                 | 30            | 0,3               | 15          | 64     | 12      | —       | —       | —         | 8       |              | 18     | 17                | 1,80    | 115 |
|          |              |   |                 |               | 0,4               | 16          |        | 13      | —       | —       | —         | 10      |              |        | 18                | 1,97    | 117 |
| 0,8      | 7            | — | 25              | 152           | 0,3               | 16          | 7      | 13      | —       | —       | —         | 8       | 14           | 18     | 1,97              | 125     |     |
|          |              |   |                 | 80            | 0,4               | 17          | 74     | 13      | —       | —       | —         | 9       |              | 18     | 19                | 2,00    | 128 |
|          |              |   |                 |               | 0,5               | 18          |        | 15      | —       | —       | —         | 11      |              |        | 20                | 2,09    | 129 |
| 0,9      | 7            | — | 30              | 125           | 0,3               | 17          | 8      | 14      | —       | —       | —         | 10      | 14           | 20     | 2,24              | 140     |     |
|          |              |   |                 | 73            | 0,4               | 18          | 83     | 14      | —       | —       | —         | 10      |              | 20     | 21                | 2,28    | 140 |
|          |              |   |                 |               | 0,5               | 19          |        | 15      | —       | —       | —         | 12      |              |        | 22                | 2,32    | 144 |
| 1,0      | 6            | 6 | 25              | 178           | 0,4               | 15          | 11     | 10      | —       | —       | 3         | 12      | 12           | 17     | 2,69              | 169     |     |
|          |              |   |                 | 132           | 0,5               | 15          | 0      | 10      | —       | —       | 3         | 14      |              | 18     | 17                | 2,69    | 169 |
|          |              |   |                 |               | 0,6               | 16          |        | 10      | —       | —       | 3         | 14      |              |        | 17                | 2,71    | 170 |
| 1,1      | 6            | 6 | 25              | 196           | 0,5               | 17          | 12     | 10      | —       | —       | 3         | 14      | 14           | 19     | 2,76              | 182     |     |
|          |              |   |                 | 146           | 0,6               | 17          | 0      | 10      | —       | —       | 3         | 16      |              | 18     | 19                | 2,76    | 184 |
|          |              |   |                 |               | 0,7               | 18          |        | 10      | —       | —       | 3         | 16      |              |        | 19                | 2,81    | 184 |
| 1,2      | 6            | 6 | 25              | 216           | 0,6               | 18          | 13     | 10      | —       | —       | 3         | 16      | 14           | 20     | 2,82              | 195     |     |
|          |              |   |                 | 160           | 0,7               | 19          | 0      | 13      | —       | —       | 3         | 18      |              | 18     | 21                | 3,03    | 200 |
|          |              |   |                 |               | 0,8               | 20          |        | 13      | —       | —       | 3         | 18      |              |        | 22                | 3,08    | 200 |
| 1,3      | 6            | 6 | 30              | 168           | 0,7               | 20          | 14     | 13      | —       | —       | 3         | 18      | 14           | 23     | 3,37              | 210     |     |
|          |              |   |                 | 142           | 0,8               | 21          | 0      | 13      | —       | —       | 3         | 20      |              | 20     | 24                | 3,40    | 215 |
|          |              |   |                 |               | 0,9               | 21          |        | 13      | —       | —       | 3         | 20      |              |        | 24                | 3,40    | 215 |
| 1,5      | 6            | 6 | 30              | 193           | 0,8               | 23          | 16     | 13      | —       | —       | 3         | 20      | 16           | 24     | 3,51              | 244     |     |
|          |              |   |                 | 164           | 0,9               | 24          | 0      | 15      | —       | —       | 3         | 22      |              | 20     | 24                | 3,66    | 245 |
|          |              |   |                 |               | 1,0               | 25          |        | 15      | —       | —       | 3         | 24      |              |        | 25                | 3,71    | 250 |
| 1,7      | 7            | 7 | 30              | 206           | 0,8               | 22          | 10     | 13      | —       | —       | 3         | 20      | 16           | 23     | 4,05              | 277     |     |
|          |              |   |                 | 159           | 0,9               | 23          | 0      | 15      | —       | —       | 3         | 22      |              | 24     | 24                | 4,23    | 283 |
|          |              |   |                 |               | 1,1               | 24          |        | 15      | —       | —       | 3         | 24      |              |        | 24                | 4,28    | 284 |

Таблица 62

Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 370$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 11$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1746$  »

$L = 21,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |   |     |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |        | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |      |     |
|----------|--------------|---|-----|---------------|-------------------|-------------|--------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|------|-----|
|          | Размеры      |   |     | Число гвоздей |                   | Высота      | Стыжки | Ширина  | Пашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |      |     |
|          | a            | b | h/n |               |                   |             |        |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |      |     |
| 0,4      | 6            | — | 20  | 20            | 0,1               | 15          | 7      | 10      | —       | —       | —         | 5       | 10           | 15     | 1,50              | 75      |      |     |
|          |              |   |     | 79            | 0,15              | 15          |        | 39      | 10      | —       | —         | —       |              | 5      | 14                | 15      | 1,50 | 75  |
|          |              |   |     |               | 0,2               | 15          |        |         | 10      | —       | —         | —       |              | 5      |                   | 15      | 1,50 | 75  |
| 0,5      | 7            | — | 20  | 20            | 0,2               | 15          | 5      | 10      | —       | —       | —         | 6       | 12           | 16     | 1,76              | 93      |      |     |
|          |              |   |     | 97            | 0,25              | 15          |        | 48      | 13      | —       | —         | —       |              | 7      | 16                | 16      | 1,84 | 94  |
|          |              |   |     |               | 0,3               | 15          |        |         | 13      | —       | —         | —       |              | 8      |                   | 16      | 1,94 | 95  |
| 0,6      | 7            | — | 25  | 127           | 0,2               | 15          | 6      | 12      | —       | —       | —         | 7       | 12           | 17     | 1,99              | 106     |      |     |
|          |              |   |     | 67            | 0,3               | 15          |        | 58      | 12      | —       | —         | —       |              | 8      | 16                | 17      | 1,99 | 107 |
|          |              |   |     |               | 0,4               | 15          |        |         | 13      | —       | —         | —       |              | 10     |                   | 18      | 2,05 | 108 |
| 0,7      | 7            | — | 25  | 149           | 0,2               | 15          | 7      | 13      | —       | —       | —         | 8       | 14           | 18     | 2,03              | 125     |      |     |
|          |              |   |     | 78            | 0,3               | 16          |        | 68      | 13      | —       | —         | —       |              | 8      | 18                | 18      | 2,07 | 125 |
|          |              |   |     |               | 0,4               | 17          |        |         | 13      | —       | —         | —       |              | 10     |                   | 19      | 2,10 | 129 |
| 0,8      | 7            | — | 30  | 124           | 0,3               | 17          | 8      | 15      | —       | —       | —         | 9       | 14           | 20     | 2,37              | 139     |      |     |
|          |              |   |     | 74            | 0,4               | 18          |        | 78      | 15      | —       | —         | —       |              | 9      | 20                | 21      | 2,41 | 139 |
|          |              |   |     |               | 0,5               | 19          |        |         | 15      | —       | —         | —       |              | 12     |                   | 22      | 2,43 | 144 |
| 0,9      | 7            | — | 30  | 140           | 0,3               | 18          | 8      | 16      | —       | —       | —         | 10      | 14           | 21     | 2,44              | 147     |      |     |
|          |              |   |     | 83            | 0,4               | 19          |        | 88      | 16      | —       | —         | —       |              | 12     | 20                | 22      | 2,46 | 151 |
|          |              |   |     |               | 0,5               | 20          |        |         | 16      | —       | —         | —       |              | 14     |                   | 23      | 2,50 | 152 |
| 1,0      | 6            | 6 | 25  | 197           | 0,4               | 15          | 11     | 10      | —       | —       | 3         | 12      | 12           | 18     | 2,82              | 173     |      |     |
|          |              |   |     | 148           | 0,5               | 16          |        | 0       | 10      | —       | —         | 3       |              | 14     | 18                | 18      | 2,84 | 175 |
|          |              |   |     |               | 0,6               | 17          |        |         | 10      | —       | —         | 3       |              | 16     |                   | 19      | 2,83 | 179 |
| 1,1      | 6            | 6 | 25  | 218           | 0,5               | 17          | 12     | 10      | —       | —       | 3         | 14      | 14           | 19     | 2,88              | 191     |      |     |
|          |              |   |     | 163           | 0,6               | 18          |        | 0       | 10      | —       | —         | 3       |              | 16     | 18                | 19      | 2,93 | 193 |
|          |              |   |     |               | 0,7               | 20          |        |         | 13      | —       | —         | 3       |              | 18     |                   | 20      | 3,19 | 197 |
| 1,2      | 7            | 7 | 25  | 225           | 0,6               | 17          | 8      | 10      | —       | —       | 3         | 16      | 14           | 19     | 3,39              | 226     |      |     |
|          |              |   |     | 155           | 0,7               | 18          |        | 0       | 13      | —       | —         | 3       |              | 18     | 20                | 19      | 3,64 | 228 |
|          |              |   |     |               | 0,8               | 19          |        |         | 13      | —       | —         | 3       |              | 18     |                   | 20      | 3,68 | 231 |
| 1,3      | 7            | 7 | 25  | 244           | 0,7               | 19          | 8      | 13      | —       | —       | 3         | 18      | 14           | 20     | 3,67              | 238     |      |     |
|          |              |   |     | 168           | 0,8               | 20          |        | 0       | 13      | —       | —         | 3       |              | 20     | 20                | 20      | 3,73 | 239 |
|          |              |   |     |               | 0,9               | 20          |        |         | 13      | —       | —         | 3       |              | 20     |                   | 20      | 3,73 | 239 |
| 1,5      | 7            | 7 | 30  | 202           | 0,8               | 21          | 10     | 13      | —       | —       | 3         | 20      | 16           | 24     | 4,18              | 275     |      |     |
|          |              |   |     | 136           | 0,9               | 23          |        | 0       | 15      | —       | —         | 3       |              | 22     | 22                | 24      | 4,43 | 276 |
|          |              |   |     |               | 1,0               | 23          |        |         | 15      | —       | —         | 3       |              | 24     |                   | 24      | 4,43 | 282 |
| 1,7      | 7            | 7 | 30  | 230           | 0,8               | 23          | 11     | 15      | —       | —       | 3         | 22      | 16           | 24     | 4,43              | 300     |      |     |
|          |              |   |     | 178           | 0,9               | 24          |        | 0       | 15      | —       | —         | 3       |              | 24     | 22                | 24      | 4,43 | 302 |
|          |              |   |     |               | 1,1               | 26          |        |         | 18      | —       | —         | 3       |              | 26     |                   | 26      | 4,79 | 307 |

Таблица 63

Число напелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 386$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 11$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1833$  \*

$L = 22,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |    |               |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |       | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |      |      |
|----------|--------------|----|---------------|---------------|-------------------|-------------|-------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|------|------|
|          | Размеры      |    |               | Число гвоздей |                   | Высота      | Стыки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжки        | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |      |      |
|          | a            | b  | $\frac{h}{n}$ |               |                   |             |       |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |      |      |
| 0,4      | 7            | —  | 20            | 20            | 0,1               | 15          | 4     | 10      | —       | —       | —         | 5       | 10           | 15     | 1,82              | 79      |      |      |
|          |              |    |               | 84            | 0,15              | 15          |       | 40      | 10      | —       | —         | —       |              | 5      | 14                | 15      | 1,82 | 79   |
|          |              |    |               |               | 0,2               | 15          |       |         | 10      | —       | —         | —       |              | 6      |                   | 15      | 1,82 | 80   |
| 0,5      | 7            | —  | 20            | 20            | 0,2               | 15          | 5     | 10      | —       | —       | —         | 6       | 12           | 16     | 1,84              | 98      |      |      |
|          |              |    |               | 112           | 0,25              | 15          |       | 50      | 13      | —       | —         | —       |              | 7      | 16                | 16      | 1,93 | 99   |
|          |              |    |               |               | 0,3               | 15          |       |         | 13      | —       | —         | —       |              | 8      | 16                | 16      | 1,93 | 99   |
| 0,6      | 7            | —  | 25            | 144           | 0,2               | 15          | 6     | 12      | —       | —       | —         | 7       | 12           | 17     | 2,07              | 114     |      |      |
|          |              |    |               | 77            | 0,3               | 15          |       | 60      | 12      | —       | —         | —       |              | 8      | 18                | 17      | 2,07 | 115  |
|          |              |    |               |               | 0,4               | 15          |       |         | 13      | —       | —         | —       |              | 10     |                   | 18      | 18   | 2,10 |
| 0,7      | 7            | —  | 30            | 123           | 0,2               | 15          | 7     | 18      | —       | —       | —         | 10      | 14           | 19     | 2,35              | 130     |      |      |
|          |              |    |               | 73            | 0,3               | 16          |       | 71      | 13      | —       | —         | —       |              | 10     | 18                | 20      | 2,39 | 131  |
|          |              |    |               |               | 0,4               | 17          |       |         | 13      | —       | —         | —       |              | 12     |                   | 21      | 2,43 | 135  |
| 0,8      | 7            | —  | 30            | 142           | 0,3               | 18          | 8     | 15      | —       | —       | —         | 10      | 14           | 21     | 2,48              | 147     |      |      |
|          |              |    |               | 84            | 0,4               | 19          |       | 81      | 15      | —       | —         | —       |              | 10     | 18                | 22      | 2,52 | 149  |
|          |              |    |               |               | 0,5               | 20          |       |         | 15      | —       | —         | —       |              | 14     |                   | 23      | 2,56 | 151  |
| 0,9      | 6            | 6  | 25            | 198           | 0,3               | 15          | 11    | 10      | —       | —       | 3         | 12      | 12           | 17     | 2,95              | 176     |      |      |
|          |              |    |               | 148           | 0,4               | 15          |       | 0       | 10      | —       | —         | 3       |              | 12     | 18                | 17      | 2,95 | 176  |
|          |              |    |               |               | 0,5               | 16          |       |         | 10      | —       | —         | 3       |              | 14     |                   | 18      | 2,97 | 178  |
| 1,0      | 6            | 6  | 25            | 218           | 0,4               | 16          | 12    | 10      | —       | —       | 3         | 12      | 14           | 18     | 2,97              | 188     |      |      |
|          |              |    |               | 164           | 0,5               | 17          |       | 0       | 10      | —       | —         | 3       |              | 14     | 18                | 19      | 3,02 | 192  |
|          |              |    |               |               | 0,6               | 18          |       |         | 10      | —       | —         | 3       |              | 16     |                   | 19      | 3,07 | 193  |
| 1,1      | 7            | 7  | 25            | 224           | 0,5               | 16          | 7     | 10      | —       | —       | 3         | 14      | 14           | 18     | 3,49              | 217     |      |      |
|          |              |    |               | 154           | 0,6               | 16          |       | 0       | 10      | —       | —         | 3       |              | 16     | 20                | 19      | 3,49 | 218  |
|          |              |    |               |               | 0,7               | 17          |       |         | 10      | —       | —         | 3       |              | 18     |                   | 19      | 3,55 | 223  |
| 1,2      | 7            | 7  | 25            | 248           | 0,6               | 17          | 8     | 10      | —       | —       | 3         | 16      | 14           | 20     | 3,55              | 235     |      |      |
|          |              |    |               | 171           | 0,7               | 19          |       | 0       | 13      | —       | —         | 3       |              | 18     | 20                | 20      | 3,84 | 239  |
|          |              |    |               |               | 0,8               | 20          |       |         | 13      | —       | —         | 3       |              | 20     |                   | 20      | 3,90 | 241  |
| 1,3      | 7            | 7  | 30            | 192           | 0,7               | 20          | 9     | 13      | —       | —       | 3         | 18      | 14           | 23     | 4,32              | 248     |      |      |
|          |              |    |               | 149           | 0,8               | 21          |       | 0       | 13      | —       | —         | 3       |              | 20     | 20                | 23      | 4,37 | 253  |
|          |              |    |               |               | 0,9               | 22          |       |         | 15      | —       | —         | 3       |              | 22     |                   | 23      | 4,57 | 255  |
| 1,5      | 7            | 7  | 30            | 225           | 0,8               | 22          | 10    | 15      | —       | —       | 3         | 22      | 16           | 23     | 4,57              | 287     |      |      |
|          |              |    |               | 172           | 0,9               | 23          |       | 0       | 15      | —       | —         | 3       |              | 22     | 22                | 24      | 4,63 | 291  |
|          |              |    |               |               | 1,0               | 24          |       |         | 15      | —       | —         | 3       |              | 24     |                   | 24      | 4,69 | 293  |
| 1,7      | 6            | 18 | 25            | 352           | 0,8               | 22          | 15    | 15      | —       | —       | 6         | 22      | 14           | —      | 4,79              | 286     |      |      |
|          |              |    |               | 178           | 0,9               | 23          |       | 0       | 15      | —       | —         | 6       |              | 22     | —                 | —       | 4,85 | 290  |
|          |              |    |               |               | 1,1               | 24          |       |         | 18      | —       | —         | 6       |              | 26     | 20                | —       | 5,12 | 293  |

Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 404$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 12$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1912$  »

$L = 23,5$  м

Таблица 64



| Нагрузка | Верхний пояс |    |    |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |       | Решетка |         |        |         |           | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|----|----|---------------|-------------------|-------------|-------|---------|---------|--------|---------|-----------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |    |    | Число гвоздей |                   | Высота      | Стыки | Ширина  | Нашивки |        | Гвозди  |           | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b  | h  |               |                   |             |       |         | n       | Ширина | Толщина | В решетке |              |        |                   |         |
| 0,4      | 7            | —  | 20 | 23            | 0,1               | 15          | 4     | 10      | —       | —      | —       | 5         | 10           | 15     | 1,89              | 82      |
|          |              |    | 4  | 92            | 0,15              | 15          | 42    | 10      | —       | —      | —       | 5         | 14           | 15     | 1,89              | 82      |
|          |              |    | —  | —             | 0,2               | 15          | —     | 10      | —       | —      | —       | 6         | —            | 15     | 1,89              | 83      |
| 0,5      | 7            | —  | 25 | 132           | 0,2               | 15          | 5     | 13      | —       | —      | —       | 6         | 12           | 17     | 2,19              | 104     |
|          |              |    | 5  | 69            | 0,25              | 15          | 53    | 13      | —       | —      | —       | 7         | 16           | 17     | 2,19              | 105     |
|          |              |    | —  | —             | 0,3               | 15          | —     | 13      | —       | —      | —       | 8         | —            | 17     | 2,19              | 106     |
| 0,6      | 7            | —  | 25 | 159           | 0,2               | 15          | 6     | 15      | —       | —      | —       | 7         | 12           | 17     | 2,25              | 119     |
|          |              |    | 5  | 84            | 0,3               | 16          | 64    | 15      | —       | —      | —       | 9         | 18           | 17     | 2,29              | 120     |
|          |              |    | —  | —             | 0,4               | 17          | —     | 15      | —       | —      | —       | 10        | —            | 17     | 2,33              | 123     |
| 0,7      | 7            | —  | 30 | 136           | 0,2               | 17          | 8     | 18      | —       | —      | —       | 8         | 14           | 20     | 2,70              | 144     |
|          |              |    | 5  | 81            | 0,3               | 18          | 74    | 18      | —       | —      | —       | 10        | 20           | 21     | 2,74              | 146     |
|          |              |    | —  | —             | 0,4               | 19          | —     | 18      | —       | —      | —       | 12        | —            | 22     | 2,78              | 149     |
| 0,8      | 6            | 6  | 25 | 192           | 0,3               | 15          | 10    | 10      | —       | —      | 3       | 10        | 12           | 17     | 3,06              | 164     |
|          |              |    | 5  | 145           | 0,4               | 15          | 0     | 10      | —       | —      | 3       | 12        | 16           | 17     | 3,06              | 165     |
|          |              |    | —  | —             | 0,5               | 15          | —     | 10      | —       | —      | 3       | 14        | —            | 17     | 3,06              | 166     |
| 0,9      | 6            | 6  | 25 | 216           | 0,3               | 15          | 11    | 10      | —       | —      | 2       | 12        | 12           | 18     | 3,07              | 181     |
|          |              |    | 5  | 164           | 0,4               | 16          | 0     | 10      | —       | —      | 3       | 12        | 18           | 18     | 3,11              | 181     |
|          |              |    | —  | —             | 0,5               | 17          | —     | 10      | —       | —      | 3       | 14        | —            | 19     | 3,15              | 186     |
| 1,0      | 6            | 6  | 30 | 176           | 0,4               | 17          | 12    | 10      | —       | —      | 3       | 14        | 14           | 20     | 3,50              | 199     |
|          |              |    | 5  | 152           | 0,5               | 18          | 0     | 10      | —       | —      | 3       | 16        | 18           | 21     | 3,55              | 200     |
|          |              |    | —  | —             | 0,6               | 18          | —     | 10      | —       | —      | 3       | 16        | —            | 21     | 3,55              | 200     |
| 1,1      | 6            | 6  | 30 | 192           | 0,5               | 18          | 14    | 10      | —       | —      | 3       | 16        | 14           | 21     | 3,57              | 220     |
|          |              |    | 5  | 166           | 0,6               | 19          | 0     | 10      | —       | —      | 3       | 18        | 20           | 22     | 3,62              | 224     |
|          |              |    | —  | —             | 0,7               | 20          | —     | 13      | —       | —      | 3       | 20        | —            | 23     | 3,86              | 226     |
| 1,2      | 6            | 6  | 30 | 212           | 0,6               | 22          | 15    | 13      | —       | —      | 4       | 18        | 14           | 23     | 3,96              | 237     |
|          |              |    | 5  | 182           | 0,7               | 22          | 0     | 13      | —       | —      | 4       | 20        | 20           | 23     | 3,96              | 238     |
|          |              |    | —  | —             | 0,8               | 23          | —     | 15      | —       | —      | 4       | 22        | —            | 24     | 4,08              | 243     |
| 1,3      | 7            | 7  | 30 | 212           | 0,7               | 20          | 9     | 13      | —       | —      | 3       | 20        | 16           | 23     | 4,51              | 266     |
|          |              |    | 5  | 166           | 0,8               | 21          | 0     | 13      | —       | —      | 3       | 20        | 20           | 23     | 4,56              | 269     |
|          |              |    | —  | —             | 0,9               | 22          | —     | 15      | —       | —      | 3       | 22        | —            | 23     | 4,77              | 271     |
| 1,5      | 7            | 7  | 30 | 245           | 0,8               | 23          | 10    | 15      | —       | —      | 3       | 22        | 16           | 24     | 4,83              | 302     |
|          |              |    | 5  | 190           | 0,9               | 24          | 0     | 15      | —       | —      | 3       | 24        | 22           | 24     | 4,89              | 304     |
|          |              |    | —  | —             | 1,0               | 25          | —     | 18      | —       | —      | 3       | 26        | —            | 25     | 5,17              | 309     |
| 1,7      | 6            | 18 | 25 | 384           | 0,8               | 22          | 16    | 15      | —       | —      | 6       | 22        | 14           | —      | 5,00              | 301     |
|          |              |    | 5  | 194           | 0,9               | 23          | 0     | 15      | —       | —      | 6       | 24        | —            | —      | 5,06              | 307     |
|          |              |    | —  | —             | 1,1               | 25          | —     | 18      | —       | —      | 6       | 26        | —            | —      | 5,41              | 313     |

Таблица 65

Число панелей . . . . . 10  
 Высота фермы . . . . .  $H = 420$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 12$  ‰  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 1995$  ‰

L = 24,5 м



| Нагрузка | Верхний пояс |    |                     |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |        | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |      |     |
|----------|--------------|----|---------------------|---------------|-------------------|-------------|--------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|------|-----|
|          | Размеры      |    |                     | Число гвоздей |                   | Высота      | Стяжки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |      |     |
|          | a            | b  | $\frac{h}{\lambda}$ |               |                   |             |        |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В углах |              |        |                   |         |      |     |
| 0,4      | 7            | —  | 20                  | 18            | 0,1               | 15          | 5      | 10      | 7       | 3,5     | 5         | 5       | 12           | 15     | 2,32              | 96      |      |     |
|          |              |    |                     | 68            | 0,15              | 15          |        | 47      | 10      | 7       | 3,5       | 5       |              | 5      | 16                | 15      | 2,32 | 96  |
|          |              |    |                     | —             | 0,2               | 15          |        | —       | 10      | 7       | 3,5       | 5       |              | 5      | —                 | 15      | 2,32 | 96  |
| 0,5      | 7            | —  | 20                  | 18            | 0,2               | 15          | 6      | 13      | 8       | 3,5     | 6         | 7       | 12           | 16     | 2,48              | 110     |      |     |
|          |              |    |                     | 90            | 0,25              | 15          |        | 58      | 13      | 8       | 3,        | 6       |              | 7      | 16                | 16      | 2,48 | 110 |
|          |              |    |                     | —             | 0,3               | 15          |        | —       | 13      | 8       | 3,5       | 6       |              | 7      | —                 | 16      | 2,48 | 110 |
| 0,6      | 7            | —  | 25                  | 119           | 0,2               | 15          | 7      | 10      | 7       | 3,5     | 7,5       | 8       | 14           | 17     | 2,53              | 135     |      |     |
|          |              |    |                     | 63            | 0,3               | 15          |        | 70      | 10      | 7       | 3,5       | 7,5     |              | 8      | 18                | 17      | 2,53 | 135 |
|          |              |    |                     | —             | 0,4               | 15          |        | —       | 13      | 8       | 3,5       | 7,5     |              | 9      | —                 | 17      | 2,69 | 135 |
| 0,7      | 7            | —  | 25                  | 141           | 0,2               | 17          | 8      | 13      | 8       | 3,5     | 8         | 9       | 14           | 20     | 2,77              | 152     |      |     |
|          |              |    |                     | 74            | 0,3               | 17          |        | 82      | 13      | 8       | 3,5       | 8       |              | 9      | 20                | 20      | 2,77 | 152 |
|          |              |    |                     | —             | 0,4               | 17          |        | —       | 13      | 8       | 3,5       | 8       |              | 9      | —                 | 20      | 2,77 | 152 |
| 0,8      | 7            | —  | 30                  | 118           | 0,3               | 19          | 9      | 15      | 8       | 3,5     | 9,5       | 11      | 16           | 23     | 3,19              | 179     |      |     |
|          |              |    |                     | 71            | 0,4               | 19          |        | 94      | 15      | 8       | 3,5       | 9,5     |              | 11     | 22                | 23      | 3,19 | 179 |
|          |              |    |                     | —             | 0,5               | 21          |        | —       | 15      | 8       | 3,5       | 9,5     |              | 11     | —                 | 23      | 3,27 | 181 |
| 0,9      | 7            | —  | 30                  | 132           | 0,3               | 21          | 10     | 15      | 8       | 3,5     | 11        | 12      | 16           | 23     | 3,27              | 194     |      |     |
|          |              |    |                     | 79            | 0,4               | 21          |        | 105     | 15      | 8       | 3,5       | 11      |              | 12     | 22                | 23      | 3,27 | 194 |
|          |              |    |                     | —             | 0,5               | 21          |        | —       | 15      | 8       | 3,5       | 11      |              | 12     | —                 | 23      | 3,27 | 194 |
| 1,0      | 7            | 7  | 20                  | 54            | 0,4               | 16          | 8      | 13      | —       | —       | 3         | 14      | 14           | 17     | 3,92              | 223     |      |     |
|          |              |    |                     | 164           | 0,5               | 16          |        | 0       | 13      | —       | —         | 3       |              | 14     | 20                | 17      | 3,92 | 223 |
|          |              |    |                     | —             | 0,6               | 16          |        | —       | 13      | —       | —         | 3       |              | 14     | —                 | 17      | 3,92 | 223 |
| 1,1      | 7            | 7  | 25                  | 190           | 0,5               | 17          | 9      | 12      | —       | —       | 3         | 14      | 14           | 19     | 4,21              | 245     |      |     |
|          |              |    |                     | 132           | 0,6               | 17          |        | 0       | 12      | —       | —         | 3       |              | 14     | 20                | 19      | 4,21 | 245 |
|          |              |    |                     | —             | 0,7               | 17          |        | —       | 12      | —       | —         | 3       |              | 16     | —                 | 19      | 4,21 | 247 |
| 1,2      | 7            | 7  | 25                  | 208           | 0,6               | 18          | 9      | 12      | —       | —       | 3         | 16      | 16           | 20     | 4,27              | 256     |      |     |
|          |              |    |                     | 145           | 0,7               | 18          |        | 0       | 12      | —       | —         | 3       |              | 16     | 20                | 20      | 4,27 | 256 |
|          |              |    |                     | —             | 0,8               | 19          |        | —       | 13      | —       | —         | 3       |              | 18     | —                 | 20      | 4,39 | 262 |
| 1,3      | 7            | 7  | 25                  | 226           | 0,7               | 20          | 10     | 13      | —       | —       | 3         | 16      | 16           | 22     | 4,45              | 283     |      |     |
|          |              |    |                     | 157           | 0,8               | 20          |        | 0       | 13      | —       | —         | 3       |              | 18     | 22                | 22      | 4,45 | 285 |
|          |              |    |                     | —             | 0,9               | 21          |        | —       | 13      | —       | —         | 3       |              | 20     | —                 | 22      | 4,51 | 291 |
| 1,5      | 7            | 7  | 30                  | 188           | 0,8               | 22          | 12     | 13      | —       | —       | 4         | 20      | 16           | 25     | 5,00              | 321     |      |     |
|          |              |    |                     | 147           | 0,9               | 22          |        | 0       | 13      | —       | —         | 4       |              | 20     | 24                | 25      | 5,00 | 321 |
|          |              |    |                     | —             | 1,0               | 23          |        | —       | 15      | —       | —         | 4       |              | 22     | —                 | 25      | 5,24 | 326 |
| 1,7      | 6            | 18 | 25                  | 296           | 0,8               | 21          | 17     | 13      | —       | —       | 6         | 20      | 16           | —      | 5,16              | 317     |      |     |
|          |              |    |                     | 147           | 0,9               | 21          |        | 0       | 13      | —       | —         | 6       |              | 20     | —                 | —       | 5,16 | 317 |
|          |              |    |                     | —             | 1,1               | 22          |        | —       | 15      | —       | —         | 6       |              | 24     | —                 | —       | 5,40 | 321 |

Таблица 66

Число панелей . . . . . 12  
 Высота фермы . . . . .  $H = 438$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 13$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2073$  »

$L = 25,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |    |     |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |       | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |     |
|----------|--------------|----|-----|---------------|-------------------|-------------|-------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|-----|
|          | Размеры      |    |     | Число гвоздей |                   | Высота      | Стыки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |     |
|          | a            | b  | h/n |               |                   |             |       |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |     |
| 0,4      | 7            | —  | 20  | 20            | 0,1               | 15          | 5     | 10      | 7       | 8,5     | 5,5       | 6       | 12           | 15     | 2,42              | 100     |     |
|          |              |    |     | 73            | 0,15              | 15          |       | 10      | 7       | 3,5     | 5,5       | 6       |              |        | 16                | 2,42    | 100 |
|          |              |    |     | 4             | 0,2               | 16          |       | 10      | 7       | 3,5     | 5,5       | 6       |              |        | 15                | 2,42    | 100 |
| 0,5      | 7            | —  | 20  | 20            | 0,2               | 15          | 6     | 13      | 8       | 3,5     | 6,5       | 7       | 12           | 16     | 2,58              | 118     |     |
|          |              |    |     | 100           | 0,25              | 15          |       | 13      | 8       | 3,5     | 6,5       | 7       |              |        | 18                | 2,58    | 118 |
|          |              |    |     | 4             | 0,3               | 15          |       | 13      | 8       | 3,5     | 6,5       | 7       |              |        | 16                | 2,58    | 118 |
| 0,6      | 7            | —  | 25  | 181           | 0,2               | 15          | 7     | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 8       | 14           | 18     | 2,72              | 140     |     |
|          |              |    |     | 70            | 0,3               | 15          |       | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 8       |              |        | 18                | 2,72    | 140 |
|          |              |    |     | 5             | 0,4               | 15          |       | 13      | 8       | 3,5     | 8         | 10      |              |        | 18                | 2,90    | 142 |
| 0,7      | 7            | —  | 30  | 114           | 0,2               | 17          | 9     | 13      | 8       | 3,5     | 9         | 10      | 14           | 21     | 3,17              | 162     |     |
|          |              |    |     | 68            | 0,3               | 17          |       | 13      | 8       | 3,5     | 9         | 10      |              |        | 20                | 3,17    | 162 |
|          |              |    |     | 5             | 0,4               | 17          |       | 13      | 8       | 3,5     | 9         | 10      |              |        | 21                | 3,17    | 162 |
| 0,8      | 6            | 6  | 25  | 162           | 0,3               | 16          | 11    | 14      | —       | —       | 3         | 12      | 12           | 18     | 3,90              | 181     |     |
|          |              |    |     | 124           | 0,4               | 16          |       | 14      | —       | —       | 3         | 12      |              |        | 18                | 3,80    | 181 |
|          |              |    |     | 5             | 0,5               | 17          |       | 14      | —       | —       | 3         | 12      |              |        | 18                | 3,86    | 184 |
| 0,9      | 7            | 7  | 20  | 30            | 0,3               | 15          | 7     | 12      | —       | —       | 3         | 12      | 14           | 17     | 3,92              | 219     |     |
|          |              |    |     | 210           | 0,4               | 15          |       | 12      | —       | —       | 3         | 12      |              |        | 18                | 3,92    | 219 |
|          |              |    |     | 4             | 0,5               | 15          |       | 12      | —       | —       | 3         | 12      |              |        | 17                | 3,92    | 219 |
| 1,0      | 7            | 7  | 25  | 190           | 0,4               | 16          | 8     | 12      | —       | —       | 3         | 14      | 14           | 17     | 4,29              | 223     |     |
|          |              |    |     | 133           | 0,5               | 16          |       | 12      | —       | —       | 3         | 14      |              |        | 20                | 4,29    | 223 |
|          |              |    |     | 5             | 0,6               | 16          |       | 12      | —       | —       | 3         | 14      |              |        | 17                | 4,29    | 223 |
| 1,1      | 7            | 7  | 25  | 210           | 0,5               | 17          | 9     | 12      | —       | —       | 3         | 14      | 14           | 19     | 4,39              | 255     |     |
|          |              |    |     | 146           | 0,6               | 17          |       | 12      | —       | —       | 3         | 14      |              |        | 20                | 4,39    | 255 |
|          |              |    |     | 5             | 0,7               | 17          |       | 12      | —       | —       | 3         | 16      |              |        | 19                | 4,39    | 257 |
| 1,2      | 7            | 7  | 25  | 226           | 0,6               | 19          | 10    | 13      | —       | —       | 4         | 16      | 16           | 21     | 4,58              | 286     |     |
|          |              |    |     | 158           | 0,7               | 19          |       | 13      | —       | —       | 4         | 16      |              |        | 22                | 4,58    | 266 |
|          |              |    |     | 5             | 0,8               | 20          |       | 13      | —       | —       | 4         | 18      |              |        | 21                | 4,64    | 288 |
| 1,3      | 7            | 7  | 30  | 178           | 0,7               | 21          | 10    | 13      | —       | —       | 4         | 18      | 16           | 23     | 5,13              | 295     |     |
|          |              |    |     | 140           | 0,8               | 21          |       | 13      | —       | —       | 4         | 18      |              |        | 22                | 5,13    | 295 |
|          |              |    |     | 5             | 0,9               | 22          |       | 13      | —       | —       | 4         | 20      |              |        | 24                | 5,20    | 297 |
| 1,5      | 7            | 7  | 30  | 207           | 0,8               | 23          | 12    | 13      | —       | —       | 4         | 20      | 18           | 25     | 5,27              | 341     |     |
|          |              |    |     | 162           | 0,9               | 23          |       | 13      | —       | —       | 4         | 20      |              |        | 24                | 5,27    | 341 |
|          |              |    |     | 5             | 1,0               | 24          |       | 15      | —       | —       | 4         | 22      |              |        | 26                | 5,52    | 343 |
| 1,7      | 6            | 18 | 25  | 321           | 0,8               | 23          | 18    | 15      | —       | —       | 6         | 22      | 16           | —      | 5,70              | 337     |     |
|          |              |    |     | 159           | 0,9               | 23          |       | 15      | —       | —       | 6         | 22      |              |        | —                 | 5,70    | 337 |
|          |              |    |     | 5             | 1,1               | 24          |       | 15      | —       | —       | 6         | 24      |              |        | 22                | 5,77    | 339 |

Таблица 67

Число панелей . . . . . 12  
 Высота фермы . . . . .  $H = 455$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 13$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2158$  »

$L = 26,5$  м



| Нагрузка | Верхний пояс |    |               |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |       | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|----|---------------|---------------|-------------------|-------------|-------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |    |               | Число гвоздей |                   | Высота      | Стыки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b  | $\frac{h}{n}$ |               |                   |             |       |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 7            | —  | 20            | 22            | 0,1               | 15          | 5     | 10      | 7       | 3,5     | 6         | 6       | 12           | 15     | 2,52              | 110     |
|          |              |    |               | 80            | 0,15              | 15          | 51    | 10      | 7       | 3,5     | 6         | 6       |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 0,2               | 15          |       | 10      | 7       | 3,5     | 6         | 6       |              |        |                   |         |
| 0,5      | 7            | —  | 25            | 119           | 0,2               | 15          | 6     | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 7       | 12           | 17     | 2,85              | 133     |
|          |              |    |               | 64            | 0,25              | 15          | 63    | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 7       |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 0,3               | 15          |       | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 7       |              |        |                   |         |
| 0,6      | 7            | —  | 25            | 144           | 0,2               | 16          | 8     | 13      | 8       | 3,5     | 9         | 8       | 14           | 18     | 2,99              | 161     |
|          |              |    |               | 76            | 0,3               | 16          | 76    | 13      | 8       | 3,5     | 9         | 8       |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 0,4               | 16          |       | 13      | 8       | 3,5     | 9         | 10      |              |        |                   |         |
| 0,7      | 7            | —  | 30            | 124           | 0,2               | 18          | 9     | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 10      | 14           | 22     | 3,35              | 182     |
|          |              |    |               | 75            | 0,3               | 18          | 88    | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 10      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 0,4               | 18          |       | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 10      |              |        |                   |         |
| 0,8      | 7            | 7  | 20            | 33            | 0,3               | 15          | 7     | 12      | —       | —       | 3         | 12      | 14           | 16     | 4,09              | 224     |
|          |              |    |               | 190           | 0,4               | 15          | 0     | 12      | —       | —       | 3         | 12      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 0,5               | 15          |       | 12      | —       | —       | 3         | 12      |              |        |                   |         |
| 0,9      | 7            | 7  | 25            | 183           | 0,3               | 15          | 8     | 12      | —       | —       | 3         | 12      | 14           | 18     | 4,39              | 234     |
|          |              |    |               | 127           | 0,4               | 15          | 0     | 12      | —       | —       | 3         | 12      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 0,5               | 15          |       | 12      | —       | —       | 3         | 12      |              |        |                   |         |
| 1,0      | 7            | 7  | 25            | 204           | 0,4               | 17          | 8     | 12      | —       | —       | 3         | 14      | 14           | 19     | 4,53              | 257     |
|          |              |    |               | 142           | 0,5               | 17          | 0     | 12      | —       | —       | 3         | 14      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 0,6               | 17          |       | 12      | —       | —       | 3         | 14      |              |        |                   |         |
| 1,1      | 7            | 7  | 25            | 225           | 0,5               | 18          | 9     | 13      | —       | —       | 4         | 16      | 14           | 20     | 4,72              | 280     |
|          |              |    |               | 155           | 0,6               | 18          | 0     | 13      | —       | —       | 4         | 16      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 0,7               | 18          |       | 13      | —       | —       | 4         | 16      |              |        |                   |         |
| 1,2      | 7            | 7  | 30            | 178           | 0,6               | 20          | 10    | 13      | —       | —       | 4         | 16      | 16           | 23     | 5,29              | 294     |
|          |              |    |               | 189           | 0,7               | 20          | 0     | 13      | —       | —       | 4         | 16      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 0,8               | 21          |       | 13      | —       | —       | 4         | 20      |              |        |                   |         |
| 1,3      | 7            | 7  | 30            | 192           | 0,7               | 21          | 11    | 13      | —       | —       | 4         | 18      | 16           | 24     | 5,36              | 317     |
|          |              |    |               | 151           | 0,8               | 21          | 0     | 13      | —       | —       | 4         | 20      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 0,9               | 22          |       | 15      | —       | —       | 4         | 22      |              |        |                   |         |
| 1,5      | 7            | 7  | 30            | 222           | 0,8               | 24          | 13    | 14      | —       | —       | 4         | 20      | 18           | —      | 5,92              | 371     |
|          |              |    |               | 173           | 0,9               | 24          | 0     | 15      | —       | —       | 4         | 22      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 1,0               | 25          |       | 15      | —       | —       | 4         | 24      |              |        |                   |         |
| 1,7      | 6            | 18 | 25            | 352           | 0,8               | 24          | 19    | 15      | —       | —       | 6         | 24      | 16           | —      | 6,02              | 379     |
|          |              |    |               | 173           | 0,9               | 24          | 0     | 15      | —       | —       | 6         | 24      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               |               | 1,1               | 25          |       | 18      | —       | —       | 6         | 26      |              |        |                   |         |

Число панелей . . . . . 12  
 Высота фермы . . . . .  $H = 472$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 14$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2\ 238$  »

$L = 27,5$  м

Таблица 68



| Нагрузка | Верхний пояс |    |               |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |       | Решетка |         |         |            |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |      |     |
|----------|--------------|----|---------------|---------------|-------------------|-------------|-------|---------|---------|---------|------------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|------|-----|
|          | Размеры      |    |               | Число гвоздей |                   | Высота      | Стыки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди     |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |      |     |
|          | a            | b  | $\frac{h}{n}$ |               |                   |             |       |         | Ширина  | Толщина | В респетке | В углах |              |        |                   |         |      |     |
| 0,4      | 7            | —  | 20            | 22            | 0,1               | 15          | 5     | 10      | 7       | 3,5     | 6,5        | 6       | 12           | 16     | 2,61              | 116     |      |     |
|          |              |    |               | 91            | 0,15              | 15          |       | 52      | 10      | 7       | 3,5        | 6,5     |              | 6      | 16                | 16      | 2,61 | 116 |
|          |              |    |               | 4             | 0,2               | 15          |       | 10      | 7       | 3,5     | 6,5        | 6       |              | 16     | 16                | 2,61    | 116  |     |
| 0,5      | 7            | —  | 25            | 133           | 0,2               | 15          | 7     | 12      | 8       | 3,5     | 8          | 8       | 12           | 17     | 2,98              | 146     |      |     |
|          |              |    |               | 71            | 0,25              | 15          |       | 66      | 12      | 8       | 3,5        | 8       |              | 8      | 18                | 17      | 2,98 | 146 |
|          |              |    |               | 5             | 0,3               | 15          |       | 12      | 8       | 3,5     | 8          | 8       |              | 18     | 17                | 2,98    | 146  |     |
| 0,6      | 7            | —  | 30            | 118           | 0,2               | 16          | 8     | 12      | 8       | 3,5     | 9,5        | 9       | 14           | 19     | 3,31              | 170     |      |     |
|          |              |    |               | 72            | 0,3               | 16          |       | 79      | 12      | 8       | 3,5        | 9,5     |              | 9      | 20                | 19      | 3,31 | 170 |
|          |              |    |               | 5             | 0,4               | 16          |       | 12      | 9       | 3,5     | 9,5        | 10      |              | 20     | 19                | 3,31    | 171  |     |
| 0,7      | 6            | 6  | 25            | 166           | 0,2               | 15          | 10    | 13      | —       | —       | 3          | 10      | 12           | 17     | 3,98              | 189     |      |     |
|          |              |    |               | 128           | 0,3               | 15          |       | 0       | 13      | —       | —          | 3       |              | 10     | 18                | 17      | 3,98 | 189 |
|          |              |    |               | 5             | 0,4               | 15          |       | 13      | —       | —       | 3          | 10      |              | 18     | 17                | 3,98    | 189  |     |
| 0,8      | 7            | 7  | 20            | 33            | 0,3               | 15          | 7     | 12      | —       | —       | 3          | 12      | 14           | 16     | 4,24              | 233     |      |     |
|          |              |    |               | 215           | 0,4               | 15          |       | 0       | 12      | —       | —          | 3       |              | 12     | 18                | 16      | 4,24 | 233 |
|          |              |    |               | 4             | 0,5               | 16          |       | 12      | —       | —       | 3          | 12      |              | 18     | 16                | 4,31    | 233  |     |
| 0,9      | 7            | 7  | 25            | 199           | 0,3               | 16          | 8     | 12      | —       | —       | 3          | 14      | 14           | 18     | 4,63              | 251     |      |     |
|          |              |    |               | 139           | 0,4               | 16          |       | 0       | 12      | —       | —          | 3       |              | 14     | 20                | 18      | 4,63 | 251 |
|          |              |    |               | 5             | 0,5               | 16          |       | 12      | —       | —       | 3          | 14      |              | 20     | 18                | 4,63    | 251  |     |
| 1,0      | 7            | 7  | 25            | 222           | 0,4               | 17          | 9     | 12      | —       | —       | 4          | 14      | 14           | 20     | 4,73              | 277     |      |     |
|          |              |    |               | 155           | 0,5               | 17          |       | 0       | 12      | —       | —          | 4       |              | 14     | 20                | 20      | 4,73 | 277 |
|          |              |    |               | 5             | 0,6               | 17          |       | 12      | —       | —       | 4          | 16      |              | 20     | 20                | 4,73    | 279  |     |
| 1,1      | 7            | 7  | 25            | 243           | 0,5               | 19          | 10    | 13      | —       | —       | 4          | 16      | 16           | 21     | 4,99              | 309     |      |     |
|          |              |    |               | 170           | 0,6               | 19          |       | 0       | 13      | —       | —          | 4       |              | 16     | 22                | 21      | 4,99 | 309 |
|          |              |    |               | 5             | 0,7               | 19          |       | 13      | —       | —       | 4          | 18      |              | 22     | 21                | 4,99    | 311  |     |
| 1,2      | 7            | 7  | 30            | 193           | 0,6               | 20          | 10    | 13      | —       | —       | 4          | 18      | 16           | 23     | 5,48              | 316     |      |     |
|          |              |    |               | 151           | 0,7               | 20          |       | 0       | 13      | —       | —          | 4       |              | 18     | 22                | 23      | 5,60 | 316 |
|          |              |    |               | 5             | 0,8               | 21          |       | 13      | —       | —       | 4          | 20      |              | 22     | 23                | 5,80    | 321  |     |
| 1,3      | 7            | 7  | 30            | 209           | 0,7               | 22          | 11    | 13      | —       | —       | 4          | 18      | 16           | 24     | 5,62              | 344     |      |     |
|          |              |    |               | 164           | 0,8               | 22          |       | 0       | 13      | —       | —          | 4       |              | 20     | 24                | 24      | 5,62 | 346 |
|          |              |    |               | 5             | 0,9               | 23          |       | 15      | —       | —       | 4          | 22      |              | 24     | 25                | 5,90    | 352  |     |
| 1,5      | 6            | 18 | 25            | 334           | 0,8               | 22          | 17    | 15      | —       | —       | 6          | 20      | 16           | —      | 6,08              | 350     |      |     |
|          |              |    |               | 165           | 0,9               | 22          |       | 0       | 15      | —       | —          | 6       |              | 22     | 22                | —       | 6,08 | 352 |
|          |              |    |               | 5             | 1,0               | 23          |       | 15      | —       | —       | 6          | 24      |              | —      | —                 | 6,16    | 358  |     |
| 1,7      | 6            | 18 | 30            | 276           | 0,8               | 24          | 19    | 15      | —       | —       | 6          | 24      | 16           | —      | 6,83              | 379     |      |     |
|          |              |    |               | 144           | 0,9               | 24          |       | 0       | 15      | —       | —          | 6       |              | 24     | 22                | —       | 6,83 | 379 |
|          |              |    |               | 5             | 1,1               | 25          |       | 18      | —       | —       | 6          | 26      |              | 22     | —                 | 7,20    | 385  |     |



|     |   |    |    |     |     |    |    |    |   |   |   |    |    |    |    |      |     |
|-----|---|----|----|-----|-----|----|----|----|---|---|---|----|----|----|----|------|-----|
| 0,8 | 7 | 7  | 25 | 190 | 0,3 | 15 | 7  | 12 | — | — | — | 3  | 12 | 14 | 17 | 4,50 | 233 |
|     |   |    | 5  | 134 | 0,4 | 15 | 0  | 12 | — | — | — | 3  | 12 | 18 | 17 | 4,50 | 333 |
|     |   |    |    |     | 0,5 | 16 |    | 12 | — | — | — | 3  | 14 |    | 17 | 4,57 | 235 |
| 0,9 | 7 | 7  | 25 | 215 | 0,3 | 16 | 8  | 12 | — | — | 4 | 14 | 14 | 14 | 19 | 4,66 | 262 |
|     |   |    | 5  | 150 | 0,4 | 16 | 0  | 12 | — | — | 4 | 14 | 20 | 20 | 19 | 4,68 | 262 |
|     |   |    |    |     | 0,5 | 16 |    | 12 | — | — | 4 | 14 |    |    |    |      |     |
| 1,0 | 7 | 7  | 25 | 238 | 0,4 | 18 | 9  | 13 | — | — | 4 | 16 | 14 | 20 | 20 | 5,07 | 284 |
|     |   |    | 5  | 186 | 0,5 | 18 | 0  | 13 | — | — | 4 | 16 | 20 | 20 | 20 | 5,07 | 284 |
|     |   |    |    |     | 0,6 | 18 |    | 13 | — | — | 4 | 16 |    |    | 20 | 5,07 | 284 |
| 1,1 | 7 | 7  | 30 | 191 | 0,5 | 19 | 10 | 13 | — | — | 4 | 16 | 16 | 22 | 22 | 5,60 | 310 |
|     |   |    | 5  | 141 | 0,6 | 19 | 0  | 13 | — | — | 4 | 16 | 22 | 22 | 22 | 5,60 | 310 |
|     |   |    |    |     | 0,7 | 19 |    | 13 | — | — | 4 | 18 |    |    | 22 | 5,60 | 312 |
| 1,2 | 7 | 7  | 30 | 208 | 0,6 | 21 | 11 | 14 | — | — | 5 | 18 | 16 | 23 | 23 | 5,85 | 339 |
|     |   |    | 5  | 163 | 0,7 | 21 | 0  | 14 | — | — | 5 | 20 | 22 | 23 | 23 | 5,85 | 339 |
|     |   |    |    |     | 0,8 | 22 |    | 14 | — | — | 5 | 20 |    |    | 23 | 5,92 | 341 |
| 1,3 | 6 | 18 | 25 | 314 | 0,7 | 20 | 15 | 14 | — | — | 6 | 20 | 14 | —  | —  | 6,07 | 315 |
|     |   |    | 5  | 155 | 0,8 | 20 | 0  | 14 | — | — | 6 | 20 | 20 | 20 | —  | 6,07 | 315 |
|     |   |    |    |     | 0,9 | 21 |    | 15 | — | — | 6 | 22 |    |    | —  | 6,22 | 327 |
| 1,5 | 6 | 18 | 25 | 360 | 0,8 | 23 | 18 | 15 | — | — | 6 | 22 | 16 | —  | —  | 6,38 | 372 |
|     |   |    | 5  | 178 | 0,9 | 23 | 0  | 15 | — | — | 6 | 22 | 22 | 22 | —  | 6,38 | 372 |
|     |   |    |    |     | 1,0 | 24 |    | 15 | — | — | 6 | 24 |    |    | —  | 6,46 | 374 |
| 1,7 | 6 | 18 | 30 | 296 | 0,8 | 25 | 20 | 16 | — | — | 6 | 24 | 16 | —  | —  | 7,23 | 408 |
|     |   |    | 5  | 154 | 0,9 | 25 | 0  | 16 | — | — | 6 | 24 | 24 | —  | —  | 7,23 | 408 |
|     |   |    |    |     | 1,1 | 26 |    | 18 | — | — | 6 | 28 | 24 | —  | —  | 7,52 | 413 |

Таблица 69



Число панелей . . . . .  $N = 19$   
 Высота фермы . . . . .  $H = 459$  см  
 Стропильный шаг . . . . .  $f = 14$  м  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2322$  м

$l = 28,5$  м

| Нагрузка | Верхний пояс |               |        | Число гвоздей | Снеговая нагрузка |       |        |         | Нижний пояс |      |        | Решетка |         |        |         | Опорные узлы |         | Расход материала |        |        |
|----------|--------------|---------------|--------|---------------|-------------------|-------|--------|---------|-------------|------|--------|---------|---------|--------|---------|--------------|---------|------------------|--------|--------|
|          | Размеры      |               |        |               | Высота            | Стыки | Ширина | Пашивки |             | Тяжи | Врубни | Дерево  | Сталь 3 | Ширина | Толщина | В решетке    | В узлах | Тяжи             | Врубни | Дерево |
| a        | b            | $\frac{h}{n}$ | Высота | Стыки         |                   |       |        | Ширина  | Ширина      |      |        |         |         |        |         |              |         |                  |        |        |
| 0,4      | 7            | —             | 20     | 22            | 103               | 0,1   | 15     | 6       | 12          | 8    | 3,5    | 7,5     | 6       | 16     | 2,84    | 126          | 18      | 18               | 3,08   | 156    |
|          |              |               |        |               |                   | 0,15  | 15     | 55      | 12          | 8    | 3,5    | 7,5     | 6       | 16     | 2,84    | 126          | 18      | 18               | 3,08   | 156    |
| 0,5      | 7            | —             | 25     | 143           | 77                | 0,2   | 15     | 7       | 12          | 8    | 3,5    | 9       | 8       | 18     | 3,08    | 156          | 18      | 18               | 3,08   | 156    |
|          |              |               |        |               |                   | 0,25  | 15     | 68      | 12          | 8    | 3,5    | 9       | 8       | 18     | 3,08    | 156          | 18      | 18               | 3,08   | 156    |
| 0,6      | 7            | —             | 30     | 128           | 77                | 0,2   | 17     | 8       | 13          | 8    | 3,5    | 10      | 9       | 20     | 3,49    | 177          | 20      | 20               | 3,49   | 177    |
|          |              |               |        |               |                   | 0,3   | 17     | 82      | 13          | 8    | 3,5    | 10      | 9       | 20     | 3,49    | 177          | 20      | 20               | 3,49   | 177    |
| 0,7      | 7            | 7             | 20     | 33            | 199               | 0,2   | 15     | 6       | 12          | 8    | 3,5    | 10      | 10      | 16     | 4,35    | 214          | 16      | 16               | 4,35   | 214    |
|          |              |               |        |               |                   | 0,3   | 15     | 0       | 12          | 8    | 3,5    | 10      | 10      | 16     | 4,35    | 214          | 16      | 16               | 4,35   | 214    |
| 0,7      | 7            | 7             | 20     | 33            | 199               | 0,4   | 15     | 3       | 12          | 8    | 3,5    | 10      | 10      | 16     | 4,35    | 214          | 16      | 16               | 4,35   | 214    |
|          |              |               |        |               |                   | 0,4   | 15     | 0       | 12          | 8    | 3,5    | 10      | 10      | 16     | 4,35    | 214          | 16      | 16               | 4,35   | 214    |

Число пакелей . . . . . 14  
 Высота фермы . . . . .  $H = 507$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 15$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2398$  »

$L = 29,5$  м

Таблица 70



| Нагрузка | Верхний пояс |    |               |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |        | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |    |      |     |
|----------|--------------|----|---------------|---------------|-------------------|-------------|--------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|----|------|-----|
|          | Размеры      |    |               | Число гвоздей |                   | Высота      | Стяжки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжки        | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |    |      |     |
|          | a            | b  | $\frac{h}{n}$ |               |                   |             |        |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |    |      |     |
| 0,4      | 7            | —  | 20            | 20            | 0,1               | 15          | 6      | 10      | 7       | 3,5     | 6         | 5       | 12           | 15     | 2,90              | 119     |    |      |     |
|          |              |    |               | 69            | 0,15              | 15          |        | 55      | 10      | 7       | 3,5       | 6       |              |        | 5                 | 16      | 15 | 2,90 | 119 |
|          |              |    |               |               | 0,2               | 15          |        |         | 10      | 7       | 3,5       | 6       |              |        | 5                 |         | 15 | 2,90 | 119 |
| 0,5      | 7            | —  | 25            | 106           | 0,2               | 15          | 7      | 12      | 8       | 3,5     | 7         | 7       | 14           | 17     | 3,30              | 148     |    |      |     |
|          |              |    |               | 56            | 0,25              | 15          |        | 68      | 12      | 8       | 3,5       | 7       |              |        | 7                 | 18      | 17 | 3,30 | 148 |
|          |              |    |               |               | 0,3               | 15          |        |         | 12      | 8       | 3,5       | 7       |              |        | 7                 |         | 17 | 3,30 | 148 |
| 0,6      | 7            | —  | 25            | 127           | 0,2               | 16          | 8      | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 8       | 14           | 18     | 3,44              | 168     |    |      |     |
|          |              |    |               | 67            | 0,3               | 16          |        | 82      | 12      | 8       | 3,5       | 8       |              |        | 8                 | 20      | 18 | 3,44 | 168 |
|          |              |    |               |               | 0,4               | 17          |        |         | 12      | 8       | 3,5       | 8       |              |        | 8                 |         | 18 | 3,49 | 170 |
| 0,7      | 7            | —  | 30            | 110           | 0,2               | 17          | 10     | 13      | 8       | 3,5     | 9,5       | 9       | 16           | 20     | 3,79              | 203     |    |      |     |
|          |              |    |               | 66            | 0,3               | 17          |        | 95      | 13      | 8       | 3,5       | 9,5     |              |        | 9                 | 22      | 20 | 3,79 | 203 |
|          |              |    |               |               | 0,4               | 18          |        |         | 13      | 8       | 3,5       | 9,5     |              |        | 9                 |         | 21 | 3,85 | 203 |
| 0,8      | 7            | 7  | 20            | 30            | 0,3               | 15          | 7      | 12      | —       | —       | 3         | 10      | 14           | 16     | 4,71              | 230     |    |      |     |
|          |              |    |               | 160           | 0,4               | 15          |        | 0       | 12      | —       | —         | 3       |              |        | 10                | 18      | 16 | 4,71 | 230 |
|          |              |    |               |               | 0,5               | 15          |        |         | 12      | —       | —         | 3       |              |        | 12                |         | 16 | 4,71 | 232 |
| 0,9      | 7            | 7  | 25            | 162           | 0,3               | 15          | 8      | 12      | —       | —       | 3         | 12      | 14           | 18     | 5,04              | 253     |    |      |     |
|          |              |    |               | 115           | 0,4               | 15          |        | 0       | 12      | —       | —         | 3       |              |        | 12                | 20      | 18 | 5,04 | 253 |
|          |              |    |               |               | 0,5               | 16          |        |         | 12      | —       | —         | 3       |              |        | 12                |         | 19 | 5,12 | 253 |
| 1,0      | 7            | 7  | 25            | 180           | 0,4               | 17          | 9      | 12      | —       | —       | 3         | 12      | 14           | 20     | 5,23              | 277     |    |      |     |
|          |              |    |               | 127           | 0,5               | 17          |        | 0       | 12      | —       | —         | 3       |              |        | 12                | 20      | 20 | 5,23 | 277 |
|          |              |    |               |               | 0,6               | 18          |        |         | 12      | —       | —         | 3       |              |        | 14                |         | 21 | 5,31 | 279 |
| 1,1      | 7            | 7  | 25            | 198           | 0,5               | 19          | 10     | 12      | —       | —       | 3         | 14      | 16           | 21     | 5,35              | 309     |    |      |     |
|          |              |    |               | 139           | 0,6               | 19          |        | 0       | 12      | —       | —         | 3       |              |        | 14                | 22      | 21 | 5,35 | 309 |
|          |              |    |               |               | 0,7               | 19          |        |         | 12      | —       | —         | 3       |              |        | 16                |         | 21 | 5,35 | 311 |
| 1,2      | 7            | 7  | 30            | 158           | 0,6               | 20          | 11     | 13      | —       | —       | 4         | 16      | 16           | 24     | 6,05              | 330     |    |      |     |
|          |              |    |               | 125           | 0,7               | 20          |        | 0       | 13      | —       | —         | 4       |              |        | 16                | 22      | 24 | 6,05 | 330 |
|          |              |    |               |               | 0,8               | 21          |        |         | 13      | —       | —         | 4       |              |        | 18                |         | 24 | 6,12 | 335 |
| 1,3      | 7            | 7  | 30            | 172           | 0,7               | 21          | 12     | 13      | —       | —       | 4         | 16      | 18           | 25     | 6,12              | 360     |    |      |     |
|          |              |    |               | 137           | 0,8               | 22          |        | 0       | 13      | —       | —         | 4       |              |        | 18                | 24      | 25 | 6,20 | 362 |
|          |              |    |               |               | 0,9               | 23          |        |         | 13      | —       | —         | 4       |              |        | 20                |         | 25 | 6,27 | 368 |
| 1,5      | 6            | 18 | 25            | 272           | 0,8               | 22          | 18     | 14      | —       | —       | 6         | 18      | 16           | —      | 6,60              | 355     |    |      |     |
|          |              |    |               | 133           | 0,9               | 22          |        | 0       | 14      | —       | —         | 6       |              |        | 18                | 22      | —  | 6,60 | 355 |
|          |              |    |               |               | 1,0               | 23          |        |         | 14      | —       | —         | 6       |              |        | 20                |         | —  | 6,68 | 361 |
| 1,7      | 6            | 18 | 30            | 225           | 0,8               | 24          | 20     | 15      | —       | —       | 6         | 20      | 16           | —      | 7,51              | 309     |    |      |     |
|          |              |    |               | 115           | 0,9               | 24          |        | 0       | 15      | —       | —         | 6       |              |        | 20                | 24      | —  | 7,51 | 309 |
|          |              |    |               |               | 1,1               | 25          |        |         | 15      | —       | —         | 6       |              |        | 22                |         | —  | 7,59 | 396 |

Число ячеек . . . . .  $N = 14$   
 Высота фермы . . . . .  $H = 523 \text{ см}$   
 Строп. полем . . . . .  $f = 15 \text{ °}$   
 Давле. кривизны . . . . .  $R = 2484 \text{ °}$

$L = 30,5 \text{ м}$



| Нагрузка | Верхний пояс |    |                | Снеговая нагрузка | Пижный пояс   |        | Решетка |        |        |         |           | Опорные узлы |      | Расход материалов |        |         |
|----------|--------------|----|----------------|-------------------|---------------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------------|------|-------------------|--------|---------|
|          | а            | б  | $\frac{h}{7i}$ |                   | Число гвоздей | Высота | Стыки   | Ширина | Ширина | Толщина | В решетке | В узлах      | Тяжи | Врубы             | Дерево | Сталь 3 |
| 0,4      | 7            | —  | 4              | 20<br>77          | 0,1           | 15     | 6       | 12     | 8      | 3,5     | 6         | 5            | 12   | 16                | 3,16   | 123     |
|          |              |    |                |                   | 0,15          | 15     | 57      | 12     | 8      | 3,5     | 6         | 5            | 16   | 16                | 3,16   | 123     |
| 0,5      | 7            | —  | 5              | 115<br>62         | 0,2           | 15     | 7       | 12     | 8      | 3,5     | 7,5       | 7            | 14   | 17                | 3,42   | 155     |
|          |              |    |                |                   | 0,25          | 15     | 71      | 12     | 8      | 3,5     | 7,5       | 7            | 18   | 17                | 3,42   | 155     |
| 0,6      | 7            | —  | 5              | 103<br>63         | 0,2           | 16     | 8       | 12     | 8      | 3,5     | 9         | 8            | 20   | 20                | 3,79   | 177     |
|          |              |    |                |                   | 0,3           | 16     | 85      | 12     | 8      | 3,5     | 9         | 8            | 20   | 20                | 3,79   | 177     |
| 0,7      | 7            | —  | 5              | 120<br>72         | 0,2           | 18     | 10      | 13     | 8      | 3,5     | 10        | 9            | 22   | 22                | 3,97   | 210     |
|          |              |    |                |                   | 0,3           | 18     | 99      | 13     | 8      | 3,5     | 10        | 9            | 22   | 22                | 3,97   | 210     |
| 0,8      | 7            | 7  | 4              | 30<br>182         | 0,3           | 15     | 8       | 12     | —      | —       | 3         | 10           | 14   | 17                | 4,88   | 245     |
|          |              |    |                |                   | 0,4           | 15     | 0       | 12     | —      | —       | 3         | 10           | 18   | 17                | 4,88   | 245     |
| 0,9      | 7            | 7  | 5              | 174<br>122        | 0,3           | 16     | 8       | 12     | —      | —       | 3         | 12           | 14   | 19                | 5,30   | 261     |
|          |              |    |                |                   | 0,4           | 16     | 0       | 12     | —      | —       | 3         | 12           | 20   | 19                | 5,30   | 261     |
| 1,0      | 7            | 7  | 5              | 193<br>135        | 0,4           | 17     | 9       | 12     | —      | —       | 3         | 14           | 20   | 20                | 5,41   | 298     |
|          |              |    |                |                   | 0,5           | 17     | 0       | 12     | —      | —       | 3         | 14           | 22   | 20                | 5,41   | 298     |
| 1,1      | 7            | 7  | 5              | 213<br>151        | 0,5           | 19     | 10      | 14     | —      | —       | 4         | 14           | 22   | 22                | 5,87   | 321     |
|          |              |    |                |                   | 0,6           | 20     | 0       | 14     | —      | —       | 4         | 14           | 22   | 22                | 5,87   | 321     |
| 1,2      | 7            | 7  | 5              | 170<br>135        | 0,6           | 21     | 11      | 14     | —      | —       | 4         | 16           | 24   | 24                | 6,47   | 348     |
|          |              |    |                |                   | 0,7           | 21     | 0       | 14     | —      | —       | 4         | 16           | 24   | 24                | 6,47   | 348     |
| 1,3      | 7            | 7  | 5              | 184<br>143        | 0,7           | 22     | 12      | 14     | —      | —       | 4         | 18           | 25   | 25                | 6,54   | 371     |
|          |              |    |                |                   | 0,8           | 23     | 0       | 14     | —      | —       | 4         | 18           | 24   | 25                | 6,54   | 371     |
| 1,5      | 6            | 18 | 5              | 293<br>142        | 0,8           | 23     | 18      | 15     | —      | —       | 6         | 18           | 16   | 7,03              | 388    |         |
|          |              |    |                |                   | 0,9           | 23     | 0       | 15     | —      | —       | 6         | 20           | 16   | 7,03              | 388    |         |
| 1,7      | 6            | 18 | 5              | 242<br>123        | 0,8           | 25     | 21      | 15     | —      | —       | 6         | 22           | 16   | 7,85              | 428    |         |
|          |              |    |                |                   | 0,9           | 25     | 0       | 15     | —      | —       | 6         | 22           | 16   | 7,85              | 428    |         |
| 1,7      | 6            | 18 | 5              | 30<br>123         | 0,8           | 25     | 21      | 15     | —      | —       | 6         | 22           | 16   | 7,85              | 428    |         |
|          |              |    |                |                   | 0,9           | 25     | 0       | 15     | —      | —       | 6         | 22           | 16   | 7,85              | 428    |         |

Число панелей . . . . . 14  
 Высота фермы . . . . .  $H = 541$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 16$  »  
 радиус кривизны . . . . .  $R = 2565$  »

$L = 31,5$  м

Таблица 72



| Нагрузка | Верхний пояс |    |               |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |        | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |
|----------|--------------|----|---------------|---------------|-------------------|-------------|--------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|
|          | Размеры      |    |               | Число гвоздей |                   | Высота      | Стяжки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |
|          | a            | b  | $\frac{h}{n}$ |               |                   |             |        |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |
| 0,4      | 7            | —  | 20            | 22            | 0,1               | 15          | 6      | 12      | 8       | 3,5     | 6,5       | 6       | 12           | 16     | 3,27              | 129     |
|          |              |    |               | 83            | 0,15              | 15          |        | 12      | 8       | 3,5     | 6,5       | 6       |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 83            | 0,2               | 15          |        | 12      | 8       | 3,5     | 6,5       | 6       |              |        |                   |         |
| 0,5      | 7            | —  | 25            | 125           | 0,2               | 15          | 7      | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 7       | 14           | 17     | 3,53              | 161     |
|          |              |    |               | 67            | 0,25              | 15          |        | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 7       |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 67            | 0,3               | 15          |        | 12      | 8       | 3,5     | 8         | 7       |              |        |                   |         |
| 0,6      | 7            | —  | 30            | 111           | 0,2               | 16          | 9      | 12      | 8       | 3,5     | 9,5       | 8       | 14           | 20     | 3,94              | 188     |
|          |              |    |               | 67            | 0,3               | 16          |        | 12      | 8       | 3,5     | 9,5       | 8       |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 67            | 0,4               | 18          |        | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 9       |              |        |                   |         |
| 0,7      | 7            | —  | 30            | 130           | 0,2               | 18          | 10     | 13      | 8       | 3,5     | 10,5      | 10      | 16           | 22     | 4,10              | 219     |
|          |              |    |               | 78            | 0,3               | 18          |        | 13      | 8       | 3,5     | 10,5      | 10      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 78            | 0,4               | 19          |        | 13      | 8       | 3,5     | 10,5      | 10      |              |        |                   |         |
| 0,8      | 7            | 7  | 20            | 33            | 0,3               | 15          | 8      | 12      | —       | —       | 3         | 12      | 14           | 18     | 5,04              | 229     |
|          |              |    |               | 124           | 0,4               | 15          |        | 12      | —       | —       | 3         | 12      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 124           | 0,5               | 16          |        | 12      | —       | —       | 3         | 12      |              |        |                   |         |
| 0,9      | 7            | 7  | 25            | 184           | 0,3               | 16          | 9      | 12      | —       | —       | 3         | 12      | 14           | 19     | 5,51              | 276     |
|          |              |    |               | 131           | 0,4               | 16          |        | 12      | —       | —       | 3         | 12      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 131           | 0,5               | 17          |        | 12      | —       | —       | 3         | 12      |              |        |                   |         |
| 1,0      | 7            | 7  | 25            | 207           | 0,4               | 18          | 10     | 13      | —       | —       | 4         | 14      | 16           | 21     | 5,81              | 315     |
|          |              |    |               | 146           | 0,5               | 18          |        | 13      | —       | —       | 4         | 14      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 146           | 0,6               | 19          |        | 13      | —       | —       | 4         | 14      |              |        |                   |         |
| 1,1      | 7            | 7  | 30            | 166           | 0,5               | 19          | 11     | 13      | —       | —       | 4         | 16      | 16           | 23     | 6,39              | 355     |
|          |              |    |               | 133           | 0,6               | 20          |        | 13      | —       | —       | 4         | 16      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 133           | 0,7               | 20          |        | 13      | —       | —       | 4         | 16      |              |        |                   |         |
| 1,2      | 7            | 7  | 30            | 182           | 0,6               | 21          | 12     | 13      | —       | —       | 4         | 16      | 16           | 25     | 6,56              | 362     |
|          |              |    |               | 144           | 0,7               | 22          |        | 13      | —       | —       | 4         | 16      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 144           | 0,8               | 23          |        | 13      | —       | —       | 4         | 18      |              |        |                   |         |
| 1,3      | 7            | 7  | 30            | 196           | 0,7               | 23          | 12     | 14      | —       | —       | 4         | 16      | 18           | 26     | 6,85              | 381     |
|          |              |    |               | 156           | 0,8               | 24          |        | 14      | —       | —       | 4         | 18      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 156           | 0,9               | 25          |        | 4       | —       | —       | 4         | 20      |              |        |                   |         |
| 1,5      | 6            | 18 | 25            | 318           | 0,8               | 23          | 19     | 15      | —       | —       | 6         | 20      | 16           | —      | 7,26              | 385     |
|          |              |    |               | 152           | 0,9               | 24          |        | 15      | —       | —       | 6         | 20      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 152           | 1,0               | 25          |        | 15      | —       | —       | 6         | 22      |              |        |                   |         |
| 1,7      | 6            | 18 | 30            | 258           | 0,8               | 25          | 22     | 16      | —       | —       | 6         | 22      | 18           | —      | 8,25              | 433     |
|          |              |    |               | 133           | 0,9               | 25          |        | 16      | —       | —       | 6         | 22      |              |        |                   |         |
|          |              |    |               | 133           | 1,1               | 26          |        | 16      | —       | —       | 6         | 24      |              |        |                   |         |

Таблица 73

Число пилелей . . . . .  $H = 14$   
 Высота фермы . . . . .  $H = 557$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 18$  °  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2648$  м

L = 32,5 м



| Нагрузка | Верхний пояс |               |        | Снеговая нагрузка | Нижний пояс   |        |       | Решетка |           |         |        | Опорные узлы |      | Расход металла |        |         |
|----------|--------------|---------------|--------|-------------------|---------------|--------|-------|---------|-----------|---------|--------|--------------|------|----------------|--------|---------|
|          | Размеры      |               |        |                   | Число гвоздей | Высота | Стыки | Ширина  | Наплавки  |         | Гвозди | В уалах      | Тяжи | Врубки         | Дерево | Сталь 3 |
| a        | b            | $\frac{h}{n}$ | Ширина | Толщина           |               |        |       |         | В решетке | В уалах |        |              |      |                |        |         |
| 0,4      | 7            | —             | 20     | 22                | 0,1           | 15     | 6     | 12      | 8         | 3,5     | 7,5    | 6            | 14   | 16             | 3,38   | 137     |
|          |              |               | 4      | 92                | 0,15          | 15     | 60    | 12      | 8         | 3,5     | 7,5    | 6            | 12   | 16             | 3,38   | 137     |
| 0,5      | 7            | —             | 25     | 134               | 0,2           | 15     | 8     | 12      | 8         | 3,5     | 8,5    | 7            | 14   | 18             | 3,65   | 167     |
|          |              |               | 5      | 73                | 0,25          | 15     | 75    | 12      | 8         | 3,5     | 8,5    | 7            | 18   | 18             | 3,65   | 167     |
| 0,6      | 7            | —             | 30     | 120               | 0,2           | 17     | 9     | 13      | 8         | 3,5     | 10,5   | 9            | 14   | 21             | 4,18   | 200     |
|          |              |               | 5      | 74                | 0,3           | 17     | 90    | 13      | 8         | 3,5     | 10,5   | 9            | 20   | 21             | 4,18   | 200     |
| 0,7      | 7            | 7             | 20     | 33                | 0,2           | 15     | 7     | 12      | —         | —       | —      | 10           | 16   | 5,19           | 239    |         |
|          |              |               | 4      | 177               | 0,3           | 15     | 0     | 12      | —         | —       | —      | 10           | 16   | 5,19           | 239    |         |
| 0,8      | 7            | 7             | 25     | 174               | 0,3           | 15     | 8     | 12      | —         | —       | —      | 12           | 18   | 5,16           | 260    |         |
|          |              |               | 5      | 124               | 0,4           | 15     | 0     | 12      | —         | —       | —      | 12           | 18   | 5,16           | 260    |         |
| 0,9      | 7            | 7             | 25     | 193               | 0,3           | 17     | 9     | 12      | —         | —       | —      | 12           | 19   | 5,76           | 290    |         |
|          |              |               | 5      | 141               | 0,4           | 17     | 0     | 12      | —         | —       | —      | 12           | 19   | 5,76           | 290    |         |
| 1,0      | 7            | 7             | 25     | 221               | 0,4           | 18     | 10    | 13      | —         | —       | —      | 14           | 21   | 5,98           | 324    |         |
|          |              |               | 5      | 156               | 0,5           | 18     | 0     | 13      | —         | —       | —      | 14           | 21   | 5,98           | 324    |         |
| 1,1      | 7            | 7             | 30     | 177               | 0,5           | 20     | 11    | 14      | —         | —       | —      | 16           | 24   | 6,80           | 342    |         |
|          |              |               | 5      | 140               | 0,6           | 20     | 0     | 14      | —         | —       | —      | 16           | 24   | 6,80           | 342    |         |
| 1,2      | 7            | 7             | 30     | 198               | 0,6           | 22     | 12    | 14      | —         | —       | —      | 16           | 25   | 6,96           | 375    |         |
|          |              |               | 5      | 153               | 0,7           | 22     | 0     | 14      | —         | —       | —      | 16           | 25   | 6,96           | 375    |         |
| 1,3      | 6            | 18            | 25     | 288               | 0,7           | 21     | 17    | 15      | —         | —       | —      | 18           | 25   | 7,31           | 386    |         |
|          |              |               | 5      | 139               | 0,8           | 22     | 0     | 15      | —         | —       | —      | 18           | 25   | 7,31           | 386    |         |
| 1,5      | 6            | 18            | 30     | 243               | 0,8           | 23     | 20    | 15      | —         | —       | —      | 20           | 24   | 8,18           | 401    |         |
|          |              |               | 5      | 124               | 0,9           | 24     | 0     | 15      | —         | —       | —      | 20           | 24   | 8,18           | 401    |         |
| 1,7      | 7            | 21            | 25     | 359               | 0,9           | 24     | 13    | 15      | —         | —       | —      | 24           | 24   | 8,93           | 468    |         |
|          |              |               | 5      | 197               | 1,1           | 24     | 0     | 15      | —         | —       | —      | 24           | 24   | 8,93           | 468    |         |

Число панелей . . . . . 14  
 Высота фермы . . . . .  $H = 575$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 17$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2725$  »

$L = 33,5$  м

Таблица 74



| Нагрузка | Верхний пояс |    |               |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |       | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |     |
|----------|--------------|----|---------------|---------------|-------------------|-------------|-------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|-----|
|          | Размеры      |    |               | Число гвоздей |                   | Высота      | Стыки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |     |
|          | a            | b  | $\frac{h}{n}$ |               |                   |             |       |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |     |
| 0,4      | 7            | —  | 25            | 115           | 0,1               | 15          | 6     | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 6       | 12           | 17     | 3,73              | 145     |     |
|          |              |    | 5             | 62            | 0,15              | 15          |       | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 6       |              | 17     | 3,73              | 145     |     |
|          |              |    |               |               | 0,2               | 15          |       | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 6       |              | 17     | 3,73              | 145     |     |
| 0,5      | 7            | —  | 30            | 108           | 0,2               | 16          | 8     | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 7       | 14           | 20     | 4,22              | 181     |     |
|          |              |    | 5             | 65            | 0,25              | 16          |       | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 7       |              | 20     | 4,22              | 181     |     |
|          |              |    |               |               | 0,3               | 16          |       | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 7       |              | 20     | 4,22              | 181     |     |
| 0,6      | 7            | —  | 30            | 129           | 0,2               | 17          | 9     | 13      | 8       | 5       | 12,5      | 9       | 14           | 21     | 4,28              | 210     |     |
|          |              |    | 5             | 79            | 0,3               | 17          |       | 13      | 8       | 5       | 12,5      | 9       |              | 20     | 4,28              | 210     |     |
|          |              |    |               |               | 0,4               | 19          |       | 13      | 8       | 5       | 12,6      | 10      |              | 22     | 4,30              | 213     |     |
| 0,7      | 7            | 7  | 20            | 33            | 0,2               | 15          | 7     | 12      | —       | —       | 3         | 10      | 14           | 16     | 5,32              | 246     |     |
|          |              |    | 4             | 194           | 0,3               | 15          |       | 12      | —       | —       | 3         | 10      |              | 18     | 16                | 5,32    | 246 |
|          |              |    |               |               | 0,4               | 15          |       | 12      | —       | —       | 3         | 10      |              | 16     | 5,32              | 246     |     |
| 0,8      | 7            | 7  | 25            | 189           | 0,3               | 16          | 8     | 13      | —       | —       | 4         | 12      | 14           | 19     | 5,95              | 273     |     |
|          |              |    | 5             | 134           | 0,4               | 16          |       | 13      | —       | —       | 4         | 12      |              | 20     | 19                | 5,95    | 273 |
|          |              |    |               |               | 0,5               | 17          |       | 13      | —       | —       | 4         | 12      |              | 19     | 5,95              | 276     |     |
| 0,9      | 7            | 7  | 25            | 213           | 0,3               | 17          | 9     | 13      | —       | —       | 4         | 12      | 16           | 20     | 6,07              | 304     |     |
|          |              |    | 5             | 150           | 0,4               | 17          |       | 13      | —       | —       | 4         | 12      |              | 20     | 20                | 6,07    | 304 |
|          |              |    |               |               | 0,5               | 18          |       | 13      | —       | —       | 4         | 12      |              | 20     | 20                | 6,16    | 304 |
| 1,0      | 7            | 7  | 20            | 172           | 0,4               | 19          | 10    | 14      | —       | —       | 4         | 14      | 18           | 23     | 6,91              | 326     |     |
|          |              |    | 5             | 137           | 0,5               | 19          |       | 14      | —       | —       | 4         | 14      |              | 22     | 23                | 6,91    | 326 |
|          |              |    |               |               | 0,6               | 20          |       | 14      | —       | —       | 4         | 14      |              | 23     | 6,99              | 326     |     |
| 1,1      | 7            | 7  | 30            | 189           | 0,5               | 21          | 11    | 14      | —       | —       | 5         | 16      | 16           | 25     | 7,08              | 365     |     |
|          |              |    | 5             | 150           | 0,6               | 21          |       | 14      | —       | —       | 5         | 16      |              | 24     | 25                | 7,08    | 365 |
|          |              |    |               |               | 0,7               | 22          |       | 14      | —       | —       | 5         | 18      |              | 24     | 25                | 7,16    | 365 |
| 1,2      | 6            | 18 | 25            | 286           | 0,6               | 21          | 16    | 15      | —       | —       | 6         | 16      | 16           | —      | 7,52              | 340     |     |
|          |              |    | 5             | 138           | 0,7               | 21          |       | 15      | —       | —       | 6         | 16      |              | 20     | —                 | 7,52    | 340 |
|          |              |    |               |               | 0,8               | 22          |       | 15      | —       | —       | 6         | 18      |              | —      | —                 | 7,62    | 340 |
| 1,3      | 6            | 18 | 25            | 309           | 0,7               | 22          | 17    | 15      | —       | —       | 6         | 18      | 16           | —      | 7,62              | 368     |     |
|          |              |    | 5             | 150           | 0,8               | 23          |       | 15      | —       | —       | 6         | 18      |              | 22     | —                 | 7,71    | 372 |
|          |              |    |               |               | 0,9               | 24          |       | 15      | —       | —       | 6         | 20      |              | —      | —                 | 7,81    | 375 |
| 1,5      | 6            | 18 | 30            | 261           | 0,8               | 24          | 20    | 16      | —       | —       | 6         | 20      | 16           | —      | 8,64              | 414     |     |
|          |              |    | 5             | 132           | 0,9               | 25          |       | 16      | —       | —       | 6         | 22      |              | 24     | —                 | 8,78    | 419 |
|          |              |    |               |               | 1,0               | 26          |       | 16      | —       | —       | 6         | 24      |              | —      | —                 | 8,84    | 421 |
| 1,7      | 7            | 21 | 30            | 275           | 0,8               | 24          | 13    | 18      | —       | —       | 6         | 24      | 18           | —      | 10,5              | 474     |     |
|          |              |    | 5             | 157           | 0,9               | 24          |       | 18      | —       | —       | 6         | 24      |              | 24     | —                 | 10,5    | 474 |
|          |              |    |               |               | 1,1               | 26          |       | 18      | —       | —       | 6         | 26      |              | —      | —                 | 10,7    | 481 |

Число панелей . . . . . 14  
 Высота фермы . . . . .  $H = 592$  см  
 Строит. подъем . . . . .  $f = 17$  »  
 Радиус кривизны . . . . .  $R = 2806$  »

$L = 34,5$  м

Таблица 75



| Нагрузка | Верхний пояс |    |     |               | Снеговая нагрузка | Нижний пояс |       | Решетка |         |         |           |         | Опорные узлы |        | Расход материалов |         |      |
|----------|--------------|----|-----|---------------|-------------------|-------------|-------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------------|--------|-------------------|---------|------|
|          | Размеры      |    |     | Число гвоздей |                   | Высота      | Стыки | Ширина  | Нашивки |         | Гвозди    |         | Тяжи         | Врубки | Дерево            | Сталь 3 |      |
|          | a            | b  | h/n |               |                   |             |       |         | Ширина  | Толщина | В решетке | В узлах |              |        |                   |         |      |
| 0,4      | 7            | —  | 25  | 124           | 0,1               | 15          | 6     | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 6       | 12           | 17     | 3,85              | 150     |      |
|          |              |    | 5   | 67            | 0,15              | 15          |       | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 6       |              |        | 18                | 3,85    | 150  |
|          |              |    |     |               | 0,2               | 15          |       | 12      | 8       | 3,5     | 7,5       | 6       |              |        |                   | 17      | 3,85 |
| 0,5      | 7            | —  | 30  | 116           | 0,2               | 15          | 8     | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 8       | 14           | 19     | 4,29              | 189     |      |
|          |              |    | 5   | 71            | 0,25              | 15          |       | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 8       |              |        | 20                | 4,29    | 189  |
|          |              |    |     |               | 0,3               | 16          |       | 13      | 8       | 3,5     | 10        | 8       |              |        |                   | 20      | 4,35 |
| 0,6      | 7            | 7  | 20  | 36            | 0,2               | 15          | 7     | 12      | —       | —       | 3         | 10      | 12           | 16     | 5,51              | 232     |      |
|          |              |    | 4   | 167           | 0,3               | 15          |       | 12      | —       | —       | 3         | 10      |              |        | 18                | 5,51    | 232  |
|          |              |    |     |               | 0,4               | 15          |       | 12      | —       | —       | 3         | 10      |              |        |                   | 16      | 5,51 |
| 0,7      | 7            | 7  | 25  | 176           | 0,2               | 15          | 8     | 12      | —       | —       | 3         | 10      | 14           | 18     | 5,90              | 253     |      |
|          |              |    | 5   | 124           | 0,3               | 15          |       | 12      | —       | —       | 3         | 10      |              |        | 18                | 5,90    | 253  |
|          |              |    |     |               | 0,4               | 15          |       | 12      | —       | —       | 3         | 10      |              |        |                   | 18      | 5,90 |
| 0,8      | 7            | 7  | 25  | 202           | 0,3               | 16          | 9     | 13      | —       | —       | 4         | 12      | 14           | 19     | 6,17              | 299     |      |
|          |              |    | 5   | 142           | 0,4               | 16          |       | 13      | —       | —       | 4         | 12      |              |        | 20                | 6,17    | 299  |
|          |              |    |     |               | 0,5               | 17          |       | 13      | —       | —       | 4         | 12      |              |        |                   | 19      | 6,26 |
| 0,9      | 7            | 7  | 25  | 227           | 0,3               | 18          | 10    | 13      | —       | —       | 4         | 14      | 16           | 21     | 6,35              | 327     |      |
|          |              |    | 5   | 161           | 0,4               | 18          |       | 13      | —       | —       | 4         | 14      |              |        | 22                | 6,35    | 327  |
|          |              |    |     |               | 0,5               | 18          |       | 13      | —       | —       | 4         | 14      |              |        |                   | 21      | 6,35 |
| 1,0      | 7            | 7  | 30  | 185           | 0,4               | 20          | 11    | 14      | —       | —       | 4         | 16      | 16           | 23     | 7,21              | 346     |      |
|          |              |    | 5   | 147           | 0,5               | 20          |       | 14      | —       | —       | 4         | 16      |              |        | 22                | 7,21    | 346  |
|          |              |    |     |               | 0,6               | 21          |       | 14      | —       | —       | 4         | 16      |              |        |                   | 23      | 7,30 |
| 1,1      | 7            | 7  | 30  | 203           | 0,5               | 22          | 12    | 14      | —       | —       | 5         | 16      | 16           | 25     | 7,39              | 380     |      |
|          |              |    | 5   | 162           | 0,6               | 23          |       | 14      | —       | —       | 5         | 18      |              |        | 24                | 7,47    | 385  |
|          |              |    |     |               | 0,7               | 23          |       | 14      | —       | —       | 5         | 18      |              |        |                   | 25      | 7,47 |
| 1,2      | 6            | 18 | 25  | 304           | 0,6               | 21          | 17    | 16      | —       | —       | 6         | 18      | 16           | —      | 7,99              | 365     |      |
|          |              |    | 5   | 147           | 0,7               | 22          |       | 16      | —       | —       | 6         | 18      |              |        | 22                | 7,99    | 365  |
|          |              |    |     |               | 0,8               | 23          |       | 16      | —       | —       | 6         | 20      |              |        |                   | 8,09    | 387  |
| 1,3      | 6            | 18 | 25  | 330           | 0,7               | 23          | 18    | 16      | —       | —       | 6         | 18      | 16           | —      | 8,07              | 387     |      |
|          |              |    | 5   | 159           | 0,8               | 24          |       | 16      | —       | —       | 6         | 20      |              |        | 22                | 8,17    | 390  |
|          |              |    |     |               | 0,9               | 25          |       | 16      | —       | —       | 6         | 22      |              |        |                   | 8,27    | 396  |
| 1,5      | 6            | 18 | 30  | 278           | 0,8               | 25          | 21    | 17      | —       | —       | 6         | 22      | 18           | —      | 9,14              | 438     |      |
|          |              |    | 5   | 142           | 0,9               | 26          |       | 17      | —       | —       | 6         | 22      |              |        | 24                | 9,24    | 438  |
|          |              |    |     |               | 1,0               | 26          |       | 17      | —       | —       | 6         | 24      |              |        |                   | 9,24    | 440  |
| 1,7      | 7            | 21 | 30  | 294           | 0,8               | 25          | 14    | 17      | —       | —       | 6         | 24      | 18           | —      | 10,8              | 494     |      |
|          |              |    | 5   | 162           | 0,9               | 25          |       | 17      | —       | —       | 6         | 24      |              |        | 24                | 10,8    | 494  |
|          |              |    |     |               | 1,1               | 26          |       | 18      | —       | —       | 6         | 28      |              |        |                   | 11,1    | 499  |



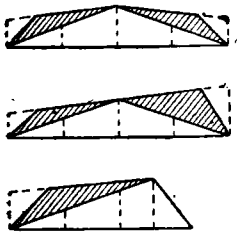
Инж. Л. К. ВОЙЦЕХОВСКИЙ

ХИ. ТРЕХШАРНИРНЫЕ АРКИ ИЗ ТРЕУГОЛЬНЫХ ФЕРМ

1. Общая характеристика трехшарнирных арок

1) Отличительные особенности

Трехшарнирные арки из треугольных ферм могут быть как двускатными, так и односкатными (фиг. 1) и допускают устройство подвесного потолка. Распор системы погашается либо затяжками либо непосредственно опорами, рассчитанными на восприятие его. Трехшарнирные арки описываемой ниже конструкции<sup>1</sup> применяются с 1929 г. для перекрытий цехов промышленных сооружений. Испытания их пробными нагруз-



Фиг. 1. Основные типы арок

ками и практика эксплуатации позволяют рекомендовать эту систему в тех случаях, когда требуется очертание кровли совпадает с очертанием ферм.

Преимущества рассматриваемой конструкции перед балочными фермами того же очертания определяются в основном следующим:

а) Однозначность усилий в элементах решетки каждой полуарки при временной нагрузке, что имеет существенное значение при конструировании узлов. В балочных фермах полигонального очертания в части элементов решетки при одностороннем загрузении возникают, как известно, усилия переменного знака.

б) Усилия в элементах решетки невелики, что облегчает экономичное конструирование узлов на любых соединениях.

в) Стержни ферм работают преимущественно на сжатие за исключением стоек, в которых возникают незначительные растягивающие усилия. Отсутствие больших растягивающих усилий повышает относительную надежность этой конструкции по сравнению с балочными фермами, так как пороки древесины и дефекты выполнения меньше сказываются на прочности сжатых элементов.

г) Затяжка работает в основном на растяжение, местный изгиб возникает только от собственного веса самой затяжки (как в неразрезной балке на опорах-подвесках). Дополнительные напряжения, аналогичные тем, которые имеют место при деформациях балочных ферм (где растянутый пояс изгибается в результате прогиба узлов), могут быть исключены путем подтяжки подвесок при эксплуатации арочной фермы.

д) В отличие от ферм балочного типа в средней части пролета отсутствуют загромождающие пространство под кровлей раскосы и стойки.

Один из недостатков арочных ферм заключается в том, что они требуют обязательного пространственного раскрепления нижних сжатых поясов полуарок. Это раскрепление достигается либо развязкой каждой пары ферм в узлах между собой (фиг. 17 и 27) либо устройством специальных

подкосов, раскрепляющих узлы нижнего сжатого пояса относительно прогонов кровли.

2) Расчет

Ниже приведены длины и усилия стержней ферм с шарниром в середине пролета — в функции от высоты, количества панелей и уклона верхнего пояса фермы (табл. 1 и 2).

Обозначения:

$n$  — число панелей во всей ферме;

$m$  — порядковый номер стержня (стойки, раскоса, верхнего или нижнего пояса) при отсчете от середины пролета (по фиг. 2);

$\alpha = \frac{h_0}{l}$  — отношение высоты  $h_0$  на опоре к пролету  $L$ , уменьшенному на расстояние  $\Delta$  между центрами пересечения поясов в каждой полуарке, т. е.  $l = L - \Delta$  (фиг. 2);

$\beta = \frac{h}{l}$  — отношение высоты  $h$  точки пересечения поясов полуарки к пролету  $L$ , уменьшенному на расстояние  $\Delta$  между этими точками (фиг. 2).

Для узловых грузов принимаются следующие обозначения:

| Нагрузка             | Верхняя | Нижняя | Суммарная |
|----------------------|---------|--------|-----------|
| Постоянная . . . . . | $G_g$   | $G_n$  | $G$       |
| Временная . . . . .  | $P_g$   | $P_n$  | $P$       |
| Полная . . . . .     | $Q_g$   | $Q_n$  | $Q$       |

Таблица 1

Формулы для вычисления длин стержней (в долях длины панели)

| Наименование стержней | Длина  |
|-----------------------|--|
| Верхний пояс          | $s_g = h_g \cdot d = \sqrt{1 + 4(\beta - \alpha)^2} \cdot d$ (1)   |
| Нижний пояс           | $s_n = h_n \cdot d = \sqrt{1 + 4\beta^2} \cdot d$ (2)              |
| Раскосы . . . . .     | $s_p = h_p \cdot d = \sqrt{1 + 4(\alpha m + \beta)^2} \cdot d$ (3) |
| Стойки . . . . .      | $s_c = h_c \cdot d = 2\alpha m d$ (4)                              |

Разница усилий в панелях: верхнего пояса:

$$\frac{1}{4\alpha} Q k_g; \tag{12}$$

нижнего пояса:

$$\frac{1}{4\alpha} Q k_n. \tag{13}$$

Приведенные формулы длин и усилий применимы как для двускатных, так и для односкатных ферм.

В целях уменьшения усилий в стержнях выгодно задаваться возможно большими высотами фермы как на опоре, так и в середине пролета.

<sup>1</sup> Предложенные впервые автором.

Формулы для определения усилий в стержнях

Таблица 2

| Наименование стержней  | Усилие   | Примечание   |
|------------------------|--|--|
| Верхний пояс . . . . . | $\frac{n-2m}{8a} \cdot k_{\sigma} \cdot Q$ (5)   |  |
| Нижний пояс . . . . .  | $\left[ \left( \frac{n-2m}{8a} - \frac{n}{8\beta} \right) G - \frac{n}{16\beta} P \right] \cdot k_{\pi}$ (6) | В полупролете, не загруженном переменной нагрузкой |
|                        | $\left[ \left( \frac{n-2m}{8a} - \frac{n}{8\beta} \right) Q + \frac{n}{16\beta} P \right] \cdot k_{\pi}$ (7) | В полупролете, загруженном переменной нагрузкой    |
|                        | $\left( \frac{n-2m}{8a} - \frac{n}{8\beta} \right) Q \cdot k_{\pi}$ (8)                                      | При нагрузке на всем пролете                       |
| Раскосы . . . . .      | $\frac{1}{4a} \cdot Q \cdot k_{\rho}$ (9)  |  |
| Стойки . . . . .       | $\frac{m-1}{2} \cdot Q + Q_n$ (10)   |  |
| Затяжка . . . . .      | $\frac{n}{8\beta} \cdot Q$ (11)  |  |

Таблица 3

Углы между стержнями

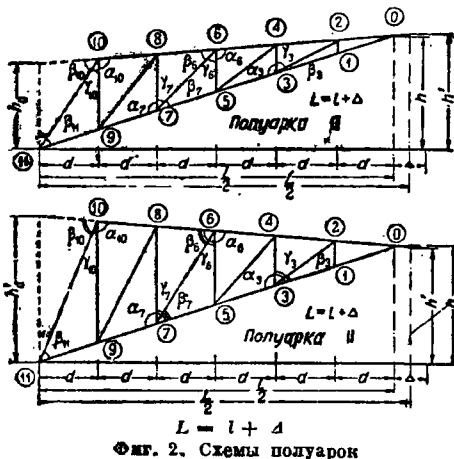
| Пояс              | Узлы | Полуарка I, углы |         |          | Полуарка II, углы |         |          |
|-------------------|------|------------------|---------|----------|-------------------|---------|----------|
|                   |      | $\alpha$         | $\beta$ | $\gamma$ | $\alpha$          | $\beta$ | $\gamma$ |
| Верхний . . . . . | 2    | 94°46'           | 25°30'  | 59°45'   | 86°14'            | 41°38'  | 53°08'   |
|                   | 4    |                  | 35°03'  | 50°12'   |                   | 54°12'  | 40°34'   |
|                   | 6    |                  | 42°32'  | 42°43'   |                   | 62°30'  | 32°16'   |
|                   | 8    |                  | 48°22'  | 36°52'   |                   | 68°13'  | 26°33'   |
|                   | 10   |                  | 52°58'  | 32°16'   |                   | 72°18'  | 22°28'   |
| Нижний . . . . .  | 3    | 108°26'          | 11°49'  | 59°24'   | 108°26'           | 18°26'  | 53°08'   |
|                   | 5    |                  | 21°22'  | 50°12'   |                   | 31°00'  | 40°34'   |
|                   | 7    |                  | 28°51'  | 42°43'   |                   | 39°18'  | 32°16'   |
|                   | 9    |                  | 34°42'  | 36°52'   |                   | 45°01'  | 26°33'   |
|                   | 11   |                  | 39°17'  | 32°16'   |                   | 49°06'  | 22°28'   |

Руководствуясь общими соображениями о выборе высоты ферм, принимаем высоту в середине

пролета фермы  $h_c = \frac{1}{6} l$  (фиг. 2). Высота фермы на опоре при заданной высоте в середине пролета

Таблица 4

Длина стержней в осях



Фиг. 2. Схемы полуарок

| Наименование           | № стержня | Полуарка I | Полуарка II |
|------------------------|-----------|------------|-------------|
| Верхний пояс . . . . . | —         | 1,0035d    | 1,0035d     |
| Нижний пояс . . . . .  | —         | 1,0540d    | 1,0540d     |
| Раскосы . . . . .      | 2-3       | 1,158d     | 1,250d      |
|                        | 4-5       | 1,302d     | 1,537d      |
|                        | 6-7       | 1,474d     | 1,873d      |
|                        | 8-9       | 1,667d     | 2,236d      |
|                        | 10-11     | 1,873d     | 2,615d      |
| Стойки . . . . .       | 2-1       | 0,25d      | 0,417d      |
|                        | 4-3       | 0,50d      | 0,833d      |
|                        | 6-5       | 0,75d      | 1,250d      |
|                        | 8-7       | 1,00d      | 1,667d      |
|                        | 10-9      | 1,25d      | 2,083d      |

определяется минимальным уклоном кровли. При рулонных кровельных материалах (рубероид, толь и их производные) вполне достаточен уклон около 5° или 1 : 12, которому при  $h_c = \frac{1}{8} l$  соответствует высота на опоре  $h_o = \frac{1}{8} l$ . Необходимо отметить, что при определенном  $h/l$  независимо от числа панелей соотношение длин всех стержней между собой и углы между отдельными стержнями остаются постоянными, что весьма упрощает составление расчетных таблиц и содействует максимальной типизации элементов.

Ниже приводятся таблицы углов между стержнями, их длин и усилий при  $h_c = \frac{1}{8} l$  и  $h_o = \frac{1}{8} l$  (наиболее часто встречающихся на практике) для двускатных и односкатных ферм (фиг. 2).

Таблица 5

Усилия в затяжках и величина опорных реакций в долях узловых грузов

| Число панелей | Опорные реакции       |       |                           | Распор—усилие затяжки     |                     |
|---------------|-----------------------|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
|               | Односторонн. нагрузка |       | Полная нагрузка $R_A=R_B$ | Односторонн. нагрузка $H$ | Полная нагрузка $H$ |
|               | $R_A$                 | $R_B$ |                           |                           |                     |
| 4             | 1,00                  | 0,50  | 1,50                      | 1,50                      | 3,00                |
| 6             | 1,75                  | 0,75  | 2,50                      | 2,25                      | 4,50                |
| 8             | 2,50                  | 1,00  | 3,50                      | 3,00                      | 6,00                |
| 10            | 3,25                  | 1,25  | 4,50                      | 3,75                      | 7,50                |
| 12            | 4,00                  | 1,50  | 5,50                      | 4,50                      | 9,00                |

Примечание. Усилия в затяжках и величина опорных реакций не зависят от очертания верхнего пояса фермы.

Таблица 6

Усилия в стойках и раскосах

| Стойки     |                          | Раскосы    |            |             |
|------------|--------------------------|------------|------------|-------------|
| № стержней | Полуарки I и II          | № стержней | Полуарка I | Полуарка II |
| 2—1        |                          | 2—3        | -2,315 Q   | -1,500 Q    |
| 4—3        | 0,500 Q + Q <sub>к</sub> | 4—5        | -2,603 Q   | -1,844 Q    |
| 6—5        | 1,000 Q + Q <sub>к</sub> | 6—7        | -2,949 Q   | -2,248 Q    |
| 8—7        | 1,500 Q + Q <sub>к</sub> | 8—9        | -3,333 Q   | -2,663 Q    |
| 10—9       | 2,000 Q + Q <sub>к</sub> | 10—11      | -3,745 Q   | -3,138 Q    |

Примечание. При нумерации стержней согласно фиг. 2 усилия в стойках и раскосах от числа панелей не зависят.

Из табл. 8 видно, что в части стержней нижнего пояса (в ближайших к шарнирному коньковому узлу) могут возникать усилия переменного знака в зависимости от соотношения между постоянной и временной нагрузками.

В некоторых случаях помимо равномерно распределенных нагрузок на фермы передаются отдельные сосредоточенные грузы в виде подвешенных к ним монорельсов, блоков и т. п. Для определения усилий в стержнях фермы от таких нагрузок удобнее всего пользоваться линиями влияния <sup>1</sup>.

3) Конструирование ферм

Независимо от числа панелей фермы конструируются совершенно одинаково. Полное подобие имеет место как в конструкции узлов, так и в

<sup>1</sup> Построение линий влияния для трехшарнирных арок см. том II, стр. 307.

соотношении длин отдельных элементов, обозначенных одними и теми же номерами <sup>2</sup>. Поэтому например десятипанельная ферма превращается в восьмипанельную отбрасыванием в каждой полуарке одной крайней панели.

При подборе сечений следует применять исключительно узкие доски шириной 13—16—19 см, что предохраняет конструкцию от появления трещин при усушке леса, весьма частых при широких досках. Как правило, в одной ферме должно быть применено не более трех сортаментов досок или брусьев. Если кроме того ширину досок назначить одинаковой, то для всей фермы может быть использован единый шаблон для разметки гвоздей, болтов, нагелей и т. д.

Трехшарнирные арки допускают рациональное устройство нешироких коньковых продольных фонарей без изменения расчета и конструкции самих ферм.

Наиболее рациональная конструкция этих арок получается при следующих узловых сопряжениях в порядке предпочтения:

- а) на зубчатых кольцевых шпонках;
- б) с вкладышами в сочетании с металлическими тяжками (вкладыши на болтах, гвоздях, нагелях);
- в) то же, в сочетании с деревянными стойками;
- г) на гладких кольцевых шпонках;
- д) на ножничных врубах.

Таким образом в отношении типа узловых сопряжений эта система может считаться универсальной.

4) Результаты испытаний трехшарнирных арок

До сего времени было проведено всего три испытания арок рассматриваемой системы.

Анализ результатов этих испытаний позволяет сделать следующие обобщающие выводы:

1. Арки обладают повышенной жесткостью по сравнению с балочными полигональными фермами.
2. Применение трехлобовых врубок не сказывается отрицательно на жесткости фермы, что говорит о возможности достаточно плотного выполнения этих сопряжений.
3. Жесткость и малые деформации в основном зависят от конструкции опорного узла и его деформации. Даже незначительные деформации опорного узла вызывают очень большие прогибы конькового узла.
4. Арка требует кровли повышенной жесткости или иного эквивалентного ей раскрепления верхнего скатного пояса, так как обладает меньшей пространственной жесткостью, чем балочные фермы.
5. Благодаря повышенной вертикальной жесткости арка может быть рекомендована для покрытий с подвешенными к ним монорельсовыми путями, электроталями и т. д.

2. Трехшарнирные арки на дубовых или березовых нагелях

Трехшарнирные арки на дубовых или березовых нагелях могут применяться как в однопролетных, так и в многопролетных сооружениях при различных схемах фонарей для покрытия производственных помещений, в которых имеют место выделение газов, паров или другие воздействия, вредные для металла.

<sup>2</sup> См. фиг. 2.

Таблица 7

## Усилия в стержнях верхнего пояса

| Полуферма | № стержней | Число панелей |          |          |          |           |
|-----------|------------|---------------|----------|----------|----------|-----------|
|           |            | 4             | 6        | 8        | 10       | 12        |
| I         | 0-2        | -2,007 Q      | -4,014 Q | -6,021 Q | -8,028 Q | -10,035 Q |
|           | 2-4        | —             | -2,007 Q | -4,014 Q | -6,021 Q | -8,028 Q  |
|           | 4-6        | —             | —        | -2,007 Q | -4,014 Q | -6,021 Q  |
|           | 6-8        | —             | —        | —        | 2,007 Q  | -4,014 Q  |
|           | 8-10       | —             | —        | —        | —        | -2,007 Q  |
| II        | 0-2        | -1,204 Q      | -2,408 Q | -3,612 Q | -4,816 Q | -6,020 Q  |
|           | 2-4        | —             | -1,204 Q | -2,408 Q | -3,612 Q | -4,816 Q  |
|           | 4-6        | —             | —        | -1,204 Q | -2,408 Q | -3,612 Q  |
|           | 6-8        | —             | —        | —        | -1,204 Q | -2,408 Q  |
|           | 8-10       | —             | —        | —        | —        | -1,204 Q  |

Примечание. Усилия в стержнях верхнего пояса, так же как и усилия в стойках и раскосах одной из полуарок, получают свои максимальные значения при полной ее загрузке и совершенно не зависят от способа и величины загрузки другой полуарки.

Таблица 8

## Усилия в стержнях нижнего пояса

| Полуарка | № стержней | Число панелей                    |                                  |                                  |                                  |                                  |
|----------|------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|          |            | 4                                | 6                                | 8                                | 10                               | 12                               |
| I        | 0-3        | -1,054 G<br>+0,527 P<br>-1,581 P | -0,527 G<br>+1,844 P<br>-2,372 P | 0<br>+3,162 P<br>-3,162 P        | +0,527 G<br>+4,480 P<br>-3,953 P | +1,054 G<br>+5,797 P<br>-4,743 P |
|          | 3-5        | —<br>—<br>—                      | -2,635 G<br>-0,264 P<br>-2,372 P | -2,103 G<br>+1,054 P<br>-3,162 P | -1,581 G<br>+2,372 P<br>-3,953 P | -1,054 G<br>+3,689 P<br>-4,743 P |
|          | 5-7        | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | -4,216 G<br>-1,054 P<br>-3,162 P | -3,689 G<br>+0,264 P<br>-3,953 P | -3,162 G<br>+1,581 P<br>-4,743 P |
|          | 7-9        | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | -5,797 G<br>-1,845 P<br>-3,953 P | -5,270 G<br>-0,527 P<br>-4,743 P |
|          | 9-11       | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | -7,378 G<br>-2,635 P<br>-4,743 P |
| II       | 0-3        | -1,897 G<br>-0,316 P<br>-1,581 P | -2,213 G<br>+0,159 P<br>-2,372 P | -2,530 G<br>+0,632 P<br>-3,162 P | -2,846 G<br>+1,107 P<br>-3,953 P | -3,162 G<br>+1,581 P<br>-4,743 P |
|          | 3-5        | —<br>—<br>—                      | -3,478 G<br>-1,106 P<br>-2,372 P | -3,794 G<br>-0,632 P<br>-3,162 P | -4,111 G<br>-0,158 P<br>-3,953 P | -4,427 G<br>+0,316 P<br>-4,743 P |
|          | 5-7        | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | -5,059 G<br>-1,897 P<br>-3,162 P | -5,375 G<br>-1,422 P<br>-3,953 P | -5,692 G<br>-0,919 P<br>-4,743 P |
|          | 7-9        | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | -6,641 G<br>-2,688 P<br>-3,953 P | -6,956 G<br>-2,213 P<br>-4,743 P |
|          | 9-11       | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | —<br>—<br>—                      | -8,221 G<br>-3,478 P<br>-4,743 P |

Примечание. В табл. 8 каждому стержню соответствуют три строки: первая дает усилие от постоянной нагрузки G по всему пролету арки, вторая — усилие от временной нагрузки P на полуарке, содержащей данный стержень, и третья — усилие от временной нагрузки P на соседней полуарке.

Таблица 5

Разница усилий в смежных панелях поясов

|              | Полуарка I | Полуарка II |
|--------------|------------|-------------|
| Верхний пояс | 2,007 Q    | 1,204 Q     |
| Нижний пояс  | 2,108 Q    | 1,265 Q     |

1) Материалы

Арка требует применения воздушно-сухой древесины влажностью не более 18%. Допускается применение как сосновых, так и еловых досок. Доски, как правило, могут быть нестрогаными. Для изготовления ферм следует назначать древесину марки I, отбирая лучшую для затяжки и стоек, а также для опорных брусков и коньковой доски. Качество материалов определяется ОСТ 7099. Ввиду того что трехшарнирные арки конструируются обычно из досок малой ширины, разрешается собирать фермы из досок несколько повышенной влажности (до 23%) при условии принятия мер против увлажнения фермы в процессе сборки; предполагается, что процент влажности понизится во время сборки и установки и в первый период эксплуатации — до полного нагружения ферм. Сказанное не распространяется на узловые вкладыши, опорные бруски и нагели, влажность которых к началу сборки не должна превосходить 18%.

Все элементы фермы, которые в процессе эксплуатации могут подвергаться увлажнению или вентилирование которых затруднено (например опорные узлы), а также березовые нагели (легко подвергающиеся загниванию) обязательно должны быть пропитаны антисептиком.

Диаметр нагелей для всей фермы может быть назначен один. Болты можно применять двух диаметров.

2) Пролеты и нагрузки

Трехшарнирные арки на нагелях могут быть применены для пролетов от 10 до 30 м при нагрузках от 600 до 1 200 кг/пог. м.

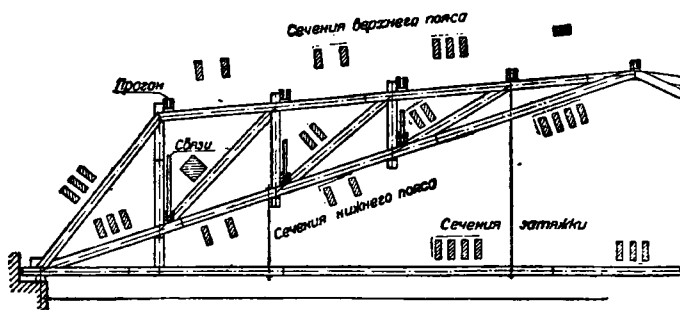
Число панелей может меняться от 4 до 12 и длина панели — от 2 до 3 м.

При пролетах до 20 м наиболее часто применяется восьмипанельная схема и при пролетах более 20 м — десятипанельная.

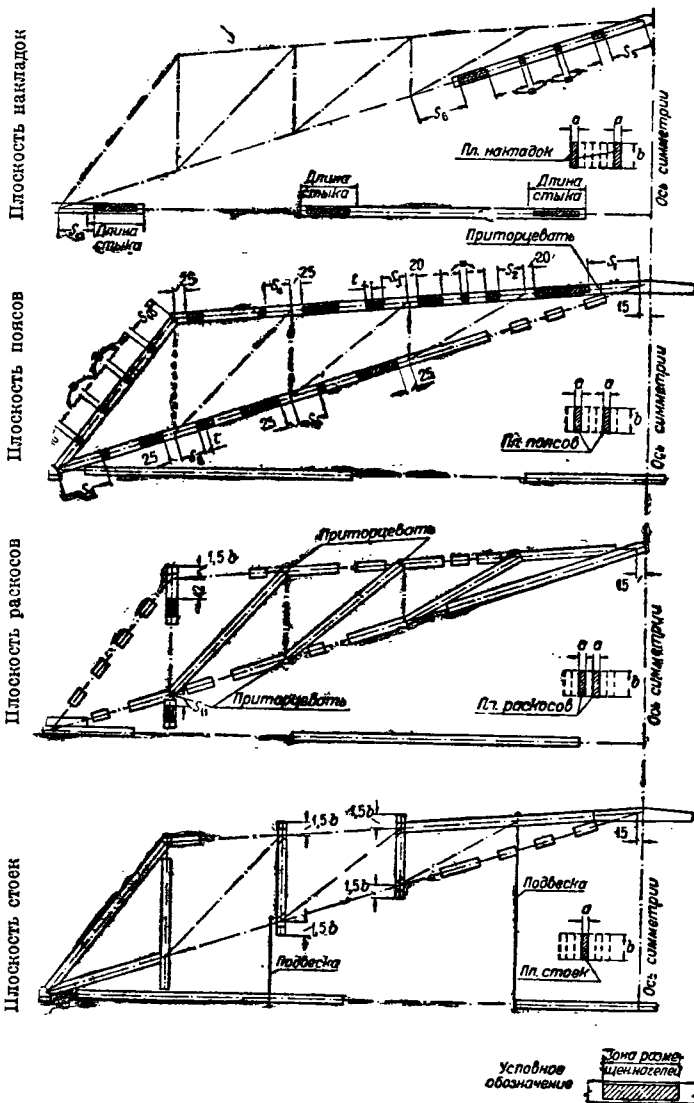
3) Конструкция узлов и стержней

а) Пояса

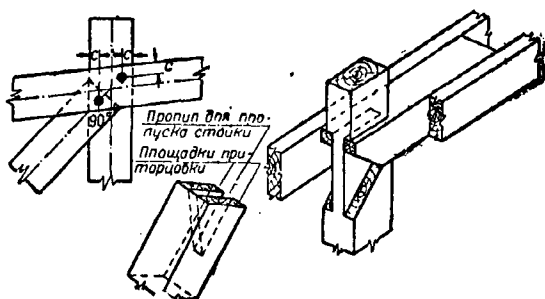
Пояса сечением из двух досок должны быть усилены в некоторых панелях третьей средней доской, а в панели, примыкающей к коньку, сплошными прокладками (фиг. 3 и 4). Отдельные ветви поясов скрепляются между собой прокладками на нагелях. В каждой прокладке обязательно на постановка стяжного болта. На-



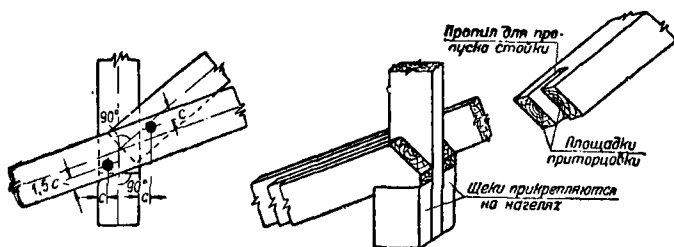
Фиг. 3. Конструкция стержней арки на нагелях



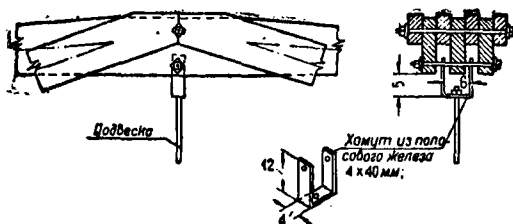
Фиг. 4. Монтажные схемы арки на нагелях



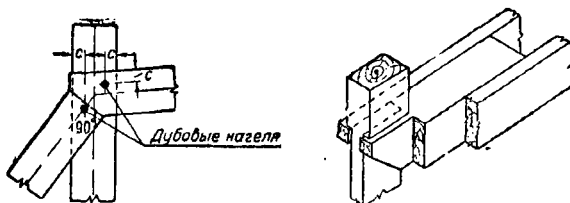
Фиг. 5. Узел верхнего пояса при брусчатых раскосах



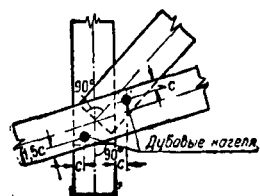
Фиг. 7. Узел нижнего пояса со щеками на гвоздях



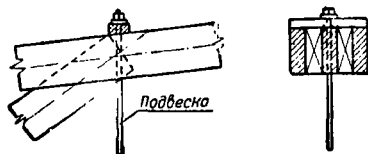
Фиг. 10. Крепление подвески в коньковом узле



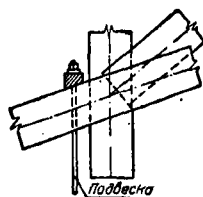
Фиг. 6 Узел верхнего пояса при стойках из двух ветвей



Фиг. 8 Узел нижнего пояса при брусчатых стойках



Фиг. 9 Крепление подвески в узле 2 верхнего пояса



Фиг. 11 Крепление подвески в промежуточных узлах

гели рассчитываются на силу сдвига, возникающую в швах стержня составного сечения при продольном изгибе. Болт в расчет не вводится. Прикрепление уловых вкладышей должно быть рассчитано как на силу сдвига при продольном изгибе, так и на разность усилий в смежных панелях поясов.

### б) Раскосы

Раскосы могут быть выполнены:

- а) из двух досок на прокладках;
- б) из целого бруса.

Каждому из вариантов присущи свои недостатки: раскос из целого бруса требует сложной обработки концов (фиг. 5 и 7), раскос же из досок — установки большего количества нагелей в прокладках. Во всех случаях, когда число прокладок и нагелей получается небольшим, следует применять дощатые раскосы. Концы раскосов всегда следует обрезать ортогонально. Против случайных сдвигов или смещений раскоса в узле конец его должен быть прикреплен к доскам пояса одним сквозным нагелем.

### в) Стойки

Стойки брусчатого сечения из отборного леса в узлах ослаблены на 50% врубкой с обеих сторон бруса (фиг. 5 и 8). В нижних узлах образующая щековая врубка решается ортогонально к оси стойки, а в верхних — под углом 85°. Во избежание случайных сдвигов при перемещениях или транспортировке конструкция стойки должна быть прикреплена к поясам фермы одним сквозным нагелем.

Стойка, ближайшая к опоре, вследствие относительно больших растягивающих усилий требует несколько более развитых площадок смятия, что достигается выполнением стойки в верхней части из двух ветвей (при четырех площадках) (фиг. 6), а в нижней — из одной ветви, но с уширением щекой, прикрепляемой нагелями (фиг. 7).

### г) Затяжка

Сечение затяжки из трех досок переходит на части длины в сечение из четырех досок. Стыки досок затяжки целесообразно всего устраивать в месте перехода сечения и только в исключительных случаях — на коротких накладках или прокладках. Затяжка подвешивается к верхнему поясу арки на металлических подвесках, расположенных по длине затяжки через 3—5 м. Детали прикрепления подвесок к поясам фермы и к затяжке даны на фиг. 9—13. Конструкция подвесок не должна ослаблять сечения затяжек и должна предусматривать возможность периодического их подтягивания.

### д) Коньковый узел

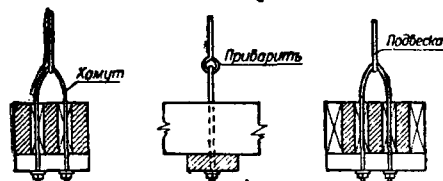
Коньковый узел (фиг. 14) может быть сконструирован с помощью специальных коньковых досок, расположенных в плоскости поясов и стоек ферм. Стык верхнего пояса с коньковой доской осуществляется при этом в упор при тщательной приторцевке и скрепляется двумя парами болтов. Доски нижнего пояса прикрепляются на нагелях, число которых определяется по расчету.

Ширина коньковых досок назначается на 3,0—7,0 см больше ширины поясных досок, что позволяет во всех случаях разместить необходимое число нагелей.

### е) Опорный узел

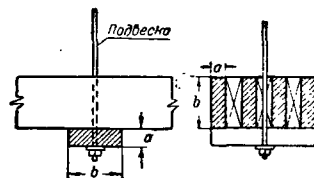
Опорный узел может быть сконструирован двояко — в зависимости от возможной по условиям опирания длины хвоста опорного узла.

1. Если длина хвоста не ограничена, то можно применять опорный узел с вкладышем из дуба, прикрепленным к затяжке нагелями, как на фиг. 21.



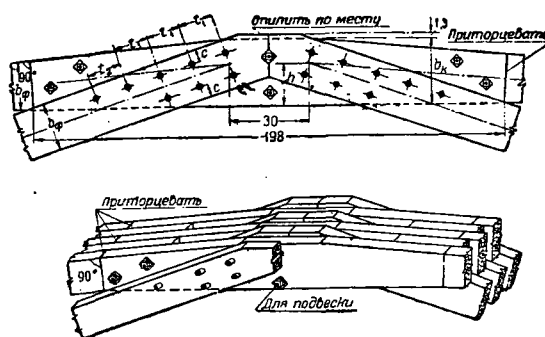
Фиг. 12. Крепление подвесок к затяжке

2. Если длина хвоста ограничена, то наиболее целесообразна конструкция опорного узла по фиг. 15. В этом случае опорный узел конструируется на щековой врубке с промежуточным упор-



Фиг. 13. Крепление подвесок к затяжке

ным вкладышем из твердого дерева. Эта конструкция вполне надежна без подбалки. Ортогональное решение щековой врубки исключает появление отдирающих усилий при скалывании щеки.



Фиг. 14. Коньковый узел

Допускаемое напряжение на скалывание в щеке следует назначать не выше 8—9 кг/см<sup>2</sup>. Наличие промежуточного вкладыша, работающего (по отношению к щеке) поперек волокон, позволяет предполагать, что соответствующие площадки скалывания щеки работают равномернее, чем при отсутствии подобных упругих прокладок. Эта способность конструкции повышает коэффициент надежности опорного узла. Для погашения возникающих при щековых врубках изгибающих моментов упорные брусья в хвостовой части подлежат связыванию между собой болтами.

Для образования площадки смятия для пояса и раскоса упорный вкладыш должен иметь скошенную форму. Площадку смятия следует назначать перпендикулярно к биссектрисе угла между поясом и раскосом. В зависимости от числа па-





Таблица 10

## Элементы арочных ферм на дубовых нагелях

| Число нагелей | L    | q      | Дерево                  |                |         |                |                 |                |         |                | Дубовые |                | Металл       |          |       |          |          |          |                   |                | Весовые коэффициенты |                       |                         |                     |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|---------------|------|--------|-------------------------|----------------|---------|----------------|-----------------|----------------|---------|----------------|---------|----------------|--------------|----------|-------|----------|----------|----------|-------------------|----------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|-------|----------|--------|--------|----------|------|----------|-------|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               |      |        | пояса и опорные раскосы |                | затяжка |                | бруски раскосов |                | прочие  | общая кубатура | нагели  |                | болты с шайб |          |       |          | подвески |          | прочие поперечные | общий вес в кг | Общий вес фермы в кг | общий k <sub>се</sub> | металла k <sub>мс</sub> | дуба k <sub>д</sub> |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               |      |        | сечение                 | м <sup>3</sup> | сечение | м <sup>3</sup> | сечение         | м <sup>3</sup> |         |                | d       | м <sup>3</sup> | d            | вес в кг | d     | вес в кг | d        | вес в кг |                   |                |                      |                       |                         |                     | d     | вес в кг | в кг   |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               |      |        |                         |                |         |                |                 |                | сечение | м <sup>3</sup> |         |                |              |          |       |          |          |          | сечение           | м <sup>3</sup> | сечение              | м <sup>3</sup>        | d                       | м <sup>3</sup>      |       |          |        | d      | вес в кг | d    | вес в кг | d     | вес в кг |      |       |       |       |       |       |       |
| 8             | 14,3 | 400    | 30×100                  | 0,342          | 30×100  | 0,146          | 90×100          | 0,100          | 0,133   | 0,721          | 16      | 0,0084         | 12           | 2,73     | 8     | 7,18     | 8        | 1,77     | 1,19              | 12,87          | 373                  | 4,56                  | 0,158                   | 0,178               |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               |      | 600    | 40×100                  | 0,461          | 40×100  | 0,199          | 120×100         | 0,133          |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         |                     | 0,185 | 0,978    | 16     | 0,0123 | 12       | 2,26 | 8        | 8,37  | 8        | 1,77 | 1,19  | 13,59 | 503   | 4,10  | 0,111 | 0,165 |
|               |      | 800    | 40×110                  | 0,526          | 40×130  | 0,272          | 120×110         | 0,147          |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         |                     | 0,203 | 1,148    | 19     | 0,0172 | 12       | 3,26 | 8        | 8,37  | 8        | 1,77 | 1,19  | 14,59 | 588   | 3,80  | 0,089 | 0,155 |
|               | 17,3 | 400    | 40×100                  | 0,565          | 40×100  | 0,244          | 120×100         | 0,155          | 0,185   | 1,149          | 16      | 0,0116         | 12           | 3,07     | 8     | 8,54     | 8        | 2,17     | 1,19              | 14,97          | 590                  | 4,93                  | 0,125                   | 0,165               |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               |      | 600    | 40×110                  | 0,624          | 40×130  | 0,330          | 120×110         | 0,171          |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         |                     | 0,203 | 1,333    | 19     | 0,0166 | 12       | 3,07 | 8        | 8,54  | 8        | 2,18 | 1,19  | 14,97 | 681   | 3,80  | 0,083 | 0,140 |
|               |      | 800    | 40×130                  | 0,726          | 40×150  | 0,368          | 120×130         | 0,206          |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         |                     | 0,309 | 1,609    | 19     | 0,0204 | 12       | 3,07 | 8        | 8,54  | 8        | 2,20 | 1,19  | 15,00 | 819   | 3,42  | 0,062 | 0,127 |
|               | 19,3 | 400    | 40×110                  | 0,685          | 40×110  | 0,302          | 120×110         | 0,188          | 0,203   | 1,378          | 19      | 0,0155         | 12           | 3,26     | 8     | 8,65     | 8        | 2,44     | 1,19              | 15,55          | 706                  | 4,74                  | 0,104                   | 0,159               |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               |      | 600    | 40×130                  | 0,810          | 40×130  | 0,358          | 120×130         | 0,256          |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         |                     | 0,275 | 1,699    | 19     | 0,0188 | 12       | 3,26 | 8        | 8,65  | 8        | 2,45 | 1,19  | 15,55 | 865   | 3,88  | 0,089 | 0,138 |
|               |      | 800    | 50×130                  | 1,021          | 50×150  | 0,520          | 150×130         | 0,277          |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         |                     | 0,340 | 2,158    | 22     | 0,0288 | 16       | 7,28 | 10       | 16,03 | 8        | 2,46 | 1,19  | 26,98 | 1 107 | 3,71  | 0,082 | 0,135 |
|               | 20,3 | 400    | 40×120                  | 0,778          | 40×120  | 0,346          | 120×120         | 0,218          | 0,239   | 1,576          | 19      | 0,0162         | 12           | 8,26     | 8     | 8,67     | 10       | 2,57     | 1,19              | 15,69          | 803                  | 4,86                  | 0,095                   | 0,155               |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               |      | 600    | 50×130                  | 0,978          | 50×120  | 0,437          | 150×120         | 0,270          |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         |                     | 0,312 | 1,997    | 22     | 0,0260 | 16       | 7,74 | 10       | 16,03 | 10       | 2,57 | 1,19  | 27,53 | 1 025 | 4,15  | 0,111 | 0,145 |
|               |      | 800    | 50×140                  | 1,143          | 50×160  | 0,586          | 150×140         | 0,316          |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         |                     | 0,427 | 2,472    | 22     | 0,0297 | 16       | 7,74 | 10       | 16,03 | 10       | 2,60 | 1,19  | 27,56 | 1 263 | 3,83  | 0,083 | 0,155 |
| 23,3          | 400  | 40×120 | 0,850                   | 40×120         | 0,407   | 120×120        | 0,260           | 0,397          | 1,914   | 19             | 0,0218  | 16             | 6,52         | 10       | 18,13 | 10       | 6,54     | 1,38     | 32,57             | 990            | 4,55                 | 0,149                 | 0,128                   |                     |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               | 600  | 50×130 | 1,170                   | 50×150         | 0,638   | 150×130        | 0,352           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,602               | 2,782 | 22       | 0,0360 | 16     | 7,57     | 10   | 21,15    | 10    | 6,59     | 1,38 | 36,69 | 1 418 | 4,85  | 0,112 | 0,133 |       |
|               | 800  | 30×150 | 1,348                   | 50×170         | 0,735   | 150×150        | 0,407           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,779               | 3,269 | 22       | 0,0422 | 16     | 8,99     | 10   | 21,89    | 10    | 6,63     | 1,38 | 38,89 | 1 673 | 3,85  | 0,089 | 0,118 |       |
| 24,3          | 400  | 40×120 | 0,895                   | 40×120         | 0,424   | 120×120        | 0,272           | 0,401          | 1,982   | 19             | 0,0222  | 16             | 6,52         | 10       | 18,55 | 10       | 6,83     | 1,38     | 33,28             | 1 024          | 4,34                 | 0,141                 | 0,119                   |                     |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               | 600  | 50×130 | 1,215                   | 50×150         | 0,665   | 150×130        | 0,370           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,611               | 2,861 | 22       | 0,0372 | 16     | 7,57     | 10   | 21,15    | 10    | 6,87     | 1,38 | 36,97 | 1 467 | 4,12  | 0,104 | 0,127 |       |
|               | 800  | 50×160 | 1,480                   | 50×180         | 0,807   | 150×160        | 0,453           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,866               | 3,606 | 22       | 0,0429 | 16     | 8,99     | 10   | 22,34    | 10    | 6,95     | 1,38 | 39,66 | 1 843 | 3,90  | 0,084 | 0,115 |       |
| 26,3          | 400  | 40×130 | 1,030                   | 40×130         | 0,498   | 120×130        | 0,320           | 0,459          | 2,302   | 19             | 0,0241  | 16             | 6,52         | 10       | 18,55 | 10       | 7,40     | 1,38     | 33,85             | 1 185          | 4,27                 | 0,122                 | 0,111                   |                     |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               | 600  | 50×140 | 1,400                   | 50×160         | 0,775   | 150×140        | 0,430           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,702               | 3,307 | 22       | 0,0407 | 16     | 6,68     | 10   | 21,15    | 10    | 7,44     | 1,38 | 36,65 | 1 690 | 4,07  | 0,088 | 0,117 |       |
|               | 800  | 50×170 | 1,695                   | 50×90          | 0,927   | 150×170        | 0,520           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,968               | 4,110 | 22       | 0,0466 | 16     | 8,10     | 10   | 21,89    | 10    | 7,52     | 1,38 | 38,89 | 2 094 | 3,77  | 0,070 | 0,107 |       |
| 29,3          | 400  | 40×150 | 1,312                   | 40×150         | 0,638   | 120×150        | 0,366           | 0,591          | 2,925   | 19             | 0,0268  | 16             | 6,52         | 10       | 18,55 | 10       | 8,27     | 1,38     | 34,72             | 1 497          | 4,35                 | 0,101                 | 0,105                   |                     |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               | 600  | 50×150 | 1,755                   | 50×160         | 0,855   | 150×150        | 0,528           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,848               | 3,984 | 22       | 0,0436 | 16     | 8,99     | 10   | 22,38    | 10    | 8,30     | 1,38 | 41,05 | 2 033 | 3,95  | 0,079 | 0,105 |       |
|               | 800  | 50×180 | 2,005                   | 50×200         | 1,078   | 150×180        | 0,593           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 1,097               | 4,771 | 25       | 0,0572 | 19     | 12,93    | 12   | 35,21    | 10    | 8,38     | 1,38 | 57,90 | 2 443 | 3,55  | 0,084 | 0,098 |       |
| 10            | 400  | 40×120 | 0,895                   | 40×120         | 0,424   | 120×120        | 0,272           | 1,091          | 4,246   | 25             | 0,0548  | 16             | 8,99         | 10       | 22,34 | 10       | 6,99     | 1,88     | 39,70             | 2 168          | 3,66                 | 0,087                 | 0,114                   |                     |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               | 600  | 50×180 | 1,215                   | 50×150         | 0,665   | 150×130        | 0,370           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,811               | 2,861 | 22       | 0,0372 | 16     | 7,57     | 10   | 21,15    | 10    | 6,87     | 1,38 | 36,97 | 1 467 | 4,12  | 0,104 | 0,127 |       |
|               | 800  | 50×180 | 1,480                   | 50×180         | 0,807   | 150×160        | 0,453           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,866               | 3,606 | 22       | 0,0429 | 16     | 8,99     | 10   | 22,34    | 10    | 6,95     | 1,38 | 39,66 | 1 843 | 3,90  | 0,084 | 0,115 |       |
| 10            | 400  | 40×130 | 1,030                   | 40×130         | 0,498   | 120×130        | 0,320           | 0,459          | 2,302   | 19             | 0,0241  | 16             | 6,52         | 10       | 18,55 | 10       | 7,40     | 1,38     | 33,85             | 1 185          | 4,27                 | 0,122                 | 0,111                   |                     |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               | 600  | 50×140 | 1,400                   | 50×160         | 0,775   | 150×140        | 0,430           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,702               | 3,307 | 22       | 0,0407 | 16     | 6,68     | 10   | 21,15    | 10    | 7,44     | 1,38 | 36,65 | 1 690 | 4,07  | 0,088 | 0,117 |       |
|               | 800  | 50×170 | 1,695                   | 50×90          | 0,927   | 150×170        | 0,520           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,968               | 4,110 | 22       | 0,0466 | 16     | 8,10     | 10   | 21,89    | 10    | 7,52     | 1,38 | 38,89 | 2 094 | 3,77  | 0,070 | 0,107 |       |
| 10            | 400  | 40×150 | 1,312                   | 40×150         | 0,638   | 120×150        | 0,366           | 1,480          | 6,200   | 25             | 0,0744  | 19             | 13,52        | 12       | 38,31 | 10       | 8,42     | 1,38     | 61,63             | 8 162          | 3,68                 | 0,072                 | 0,105                   |                     |       |          |        |        |          |      |          |       |          |      |       |       |       |       |       |       |
|               | 600  | 50×150 | 1,755                   | 50×160         | 0,855   | 150×150        | 0,528           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 0,848               | 3,984 | 22       | 0,0436 | 16     | 8,99     | 10   | 22,38    | 10    | 8,30     | 1,38 | 41,05 | 2 033 | 3,95  | 0,079 | 0,105 |       |
|               | 800  | 50×180 | 2,005                   | 50×200         | 1,078   | 150×180        | 0,593           |                |         |                |         |                |              |          |       |          |          |          |                   |                |                      |                       |                         | 1,097               | 4,771 | 25       | 0,0572 | 19     | 12,93    | 12   | 35,21    | 10    | 8,38     | 1,38 | 57,90 | 2 443 | 3,55  | 0,084 | 0,098 |       |

Опорные прокладки и нагелями, опорные вкладыши и коньковые доски —  
 см. смотри спецификационные листы

ТРЕУГОЛЬНЫЕ АРКИ ИЗ ТРЕУГОЛЬНЫХ ФЕРМ

изгиб и учета неравномерности работы отдельных ветвей стержней.

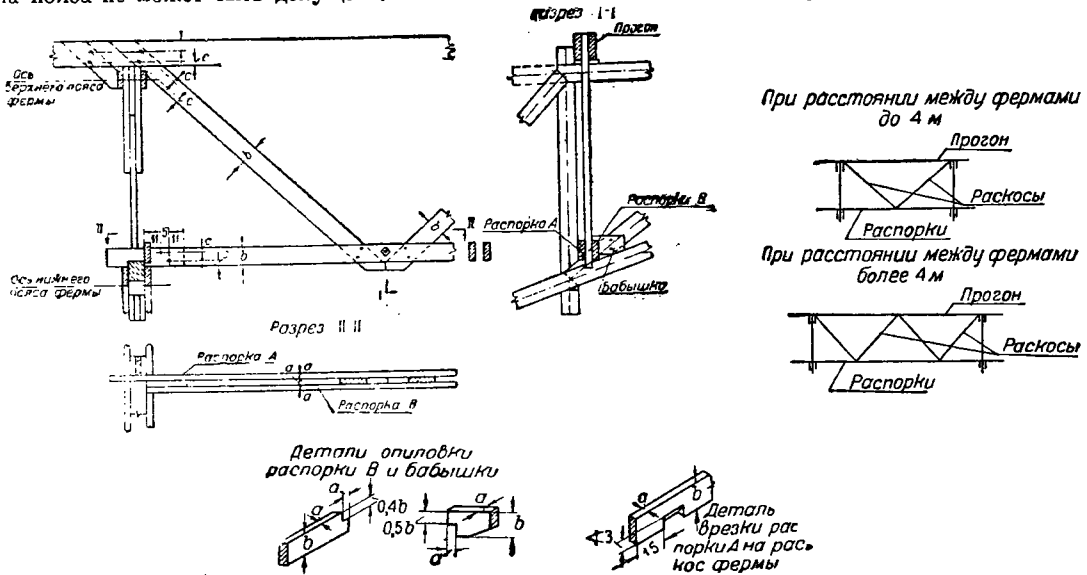
### 3. Трехшарнирные арки на гвоздях

Трехшарнирные арки на гвоздях также могут применяться как в однопролетных, так и в многопролетных сооружениях. Необходимо отметить, что выступающие выше пояса концы стоек требуют обязательного устройства кровли по прогонам, укладка обрешетки непосредственно на пояса не может быть допущена.

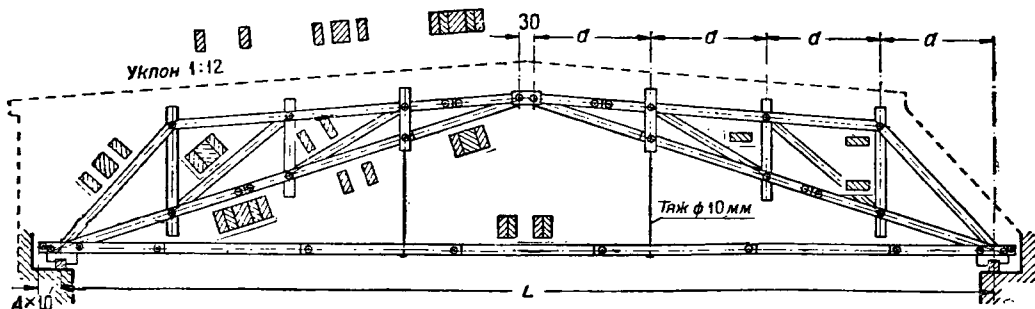
б) отказа от применения «невидимых» гвоздей, т. е. гвоздей, шляпки которых перекрываются в процессе сборки досками. Выполнение этого условия допускает последующий контроль забоя гвоздей.

#### 2) Сортамент материалов

Так же как и в арках на нагелях, ширина досок может быть принята в 13—16—19 см. Толщина досок поясов и раскосов, как правило, должна быть одинаковой и может меняться от 3,5 до 7 см. В арках пролетом выше 20 м,



Фиг. 17. Связи между фермами



Толщина центральных досок  
Толщина боковых досок  $a$   
Ширина  $b$

Фиг. 18. Фасад арки на гвоздях

#### 1) Пролеты, нагрузки и схемы арок

Как и в арках на нагелях, перекрываемые пролеты могут меняться в пределах от 10 до 30 м при нагрузках от 400 до 1500 кг/м.

Схемы таких арок не отличаются от рассмотренных (фиг. 1—2).

При назначении сечений элементов необходимо стремиться к максимальному упрощению забоя гвоздей. Это упрощение достигается путем:

а) применении для всей плоскости забоя гвоздей единого шаблона для разметки;

где пояса работают интенсивнее, поясные доски могут быть назначены толще досок раскосов. Толщину досок стоек следует принимать всюду равной 8 см из условия двустороннего забоя гвоздей (фиг. 18 и 19) с целью получения достаточного заглубления каждого гвоздя в стойку.

Фермы изготавливаются из нестроганных досок марки I.

В швах опорного узла рекомендуется обмазка досок антисептиками последующего действия.

Шляпки гвоздей рекомендуется защищать от ржавчины покраской.

Круглое железо можно употреблять следующих диаметров: для подвесок — 10 мм; для стяжных и стыковых болтов и штырей — от 12 до 18 мм; для тяжей — от 12 до 22 мм.

Болты и штыри до установки должны покрываться олифой или другим соответствующим составом для защиты от ржавления. Тяжи и подвески подлежат окраске масляной краской или лаком.

### 3) Конструкция узлов и стержней

#### а) Опорные узлы

Опорные узлы, как и в арках на нагелях, при удлиненной форме хвостов могут быть сконструированы двояко: 1) в виде щелевой врубки с монолитной щечкой (фиг. 20) или 2) с упорными вкладышами, присоединенными болтами (фиг. 21). Во втором варианте длина хвоста получается несколько большей, чем в первом.

Конструктивные детали узлов не отличаются от деталей узлов арок на нагелях.

Общими требованиями, предъявляемыми ко всем опорным узлам, являются:

- а) применение отборного сухого леса;
- б) правильная конструкция опирания на стену, обеспечивающая опорный узел от загнивания;
- в) обязательная при легких кровлях заанкеровка опорного узла к кладке для восприятия отсасывающего действия ветра;
- г) весьма тщательное выполнение работ, обеспечивающее хорошую приторцовку;
- д) недопустимость запилов в узлах с монолитными щечками.

При расчете опорных узлов допустимое напряжение на смятие вдоль волокон может быть принято равным  $100 \text{ кг/см}^2$ . Расчет варианта с монолитными щечками следует производить с учетом перегрузки отдельных плоскостей скалывания хвостовой части опорного узла.

#### б) Промежуточные узлы

Все промежуточные узлы следует выполнять в виде трехбиссектрисных щелевых врубок с присоединением щек гвоздями или болтами. Исключением является соседний с коньком узел верхнего пояса, где рекомендуется применять простой лобовой упор, ортогональный к раскосу.

Щеки присоединяются на болтах в тех случаях, когда гвоздевое соединение получается слишком громоздким. Применение во всей ферме досок одинаковой ширины приводит к упрощению трехбиссектрисной врубки, получаемой путем смещения центра узлов с точками пересечения кромок соответствующих досок.

#### в) Коньковый узел

Сходящиеся в коньке элементы верхнего пояса стыкуются простым лобовым упором без промежуточных вкладышей из металла. Для создания большей жесткости на изгиб из плоскости арки, а также для восприятия поперечной силы в узле обе половины арки связываются парными накладками, скрепляемыми с фермой двумя парами болтов (фиг. 22).

Хотя соотношение между вертикальной и горизонтальной составляющими усилия в шарнирном узле никогда не превышает  $\frac{1}{3}$  (что соответствует коэффициенту трения древесины по древесине), вследствие чего все поперечные силы, возникающие в этом узле при одностороннем нагружении, могут быть полностью восприняты силой трения,

все же необходимо гарантировать неизменяемость узла от случайных смещений боковыми накладками. Верхний пояс соединяется с нижним гвоздями, забиваемыми с обеих сторон.

#### г) З а т я ж к а

В целях уменьшения затраты металла стыки затяжки следует делать на гвоздях за исключением случаев, где из-за невозможности подбора необходимого сортамента гвоздей удобнее ставить болты.

Общие требования, предъявляемые к затяжке:

- а) соответствующий отбор лесоматериалов, недопустимость косослоя, лапчатых сучков и других дефектов, не допускаемых в элементах, подвергаемых растяжению;
- б) недопустимость подвески каких-либо грузов к затяжке;
- в) тщательное выполнение стыков, недопустимость какого-либо изменения в толщине сопрягаемых элементов;
- г) расчет стыков затяжки с учетом возможной перегрузки отдельных ветвей сечения.

Затяжку арки с подвесным потолком во избежание случайных повреждений при эксплуатации чердака необходимо заключать в специальный проветриваемый ящик-короб из досок по всей длине затяжки.

#### д) П о д в е с к и

Назначение подвесок состоит в том, чтобы при эксплуатации арки поддерживать затяжку в строго определенном положении; поэтому проектом должно быть предусмотрено приспособление для подтягивания подвесок.

В арках с подвесным потолком затяжка укладывается по прогонам потолка, подвешенным на тяжах к арке (фиг. 23 и 24); до установки прогонов затяжку надлежит подвешивать к тяжам с помощью временных прокладок.

В целях экономии металла тяжей рекомендуется высадка их концов.

#### е) С т о й к и

Из конструктивных соображений стойки, как и все элементы, расположенные в той же плоскости, следует назначать толщиной 8 см, необходимой для надлежащего забоя гвоздей. Незначительные действующие в стойках растягивающие усилия не требуют для стоек столь строгого отбора лесоматериала, как для затяжки.

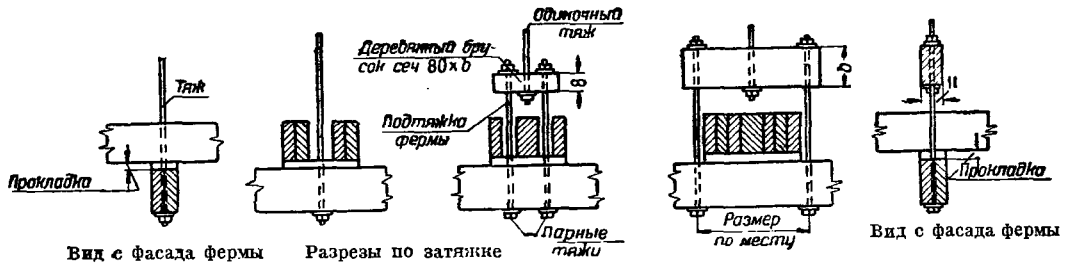
Все стойки делаются одиночными за исключением первой стойки от опоры, выполняемой, как и в арках на нагелях, в верхней части из двух ветвей.

Первая стойка от конькового узла (фиг. 25) также состоит из двух ветвей, расположенных в плоскости накладок. Эта стойка не работает и используется для придания жесткости в плоскости фермы.

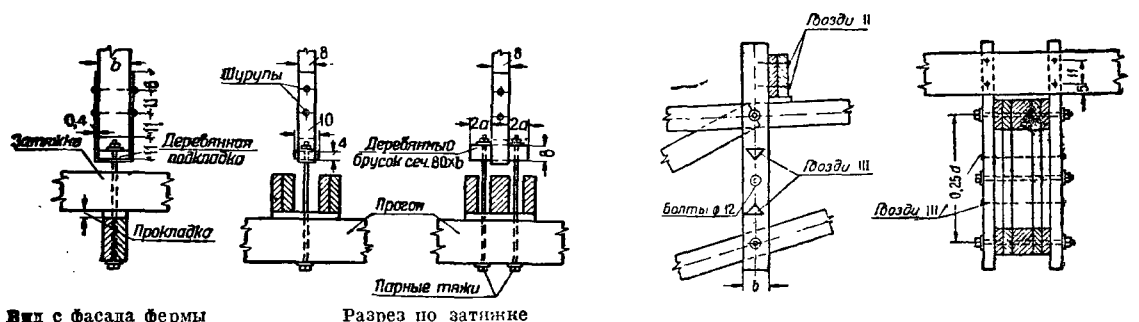
#### ж) Р а с к о с ы

Раскос обычно делается из двух ветвей, соединяемых между собой отдельно стоящими или сплошными прокладками в зависимости от величины действующих в раскосе усилий. Исключением является первый раскос от опоры, состоящий из трех ветвей в соответствии с конструкцией крайнего верхнего узла; в опорном узле раскос получает двухветвевое сечение.





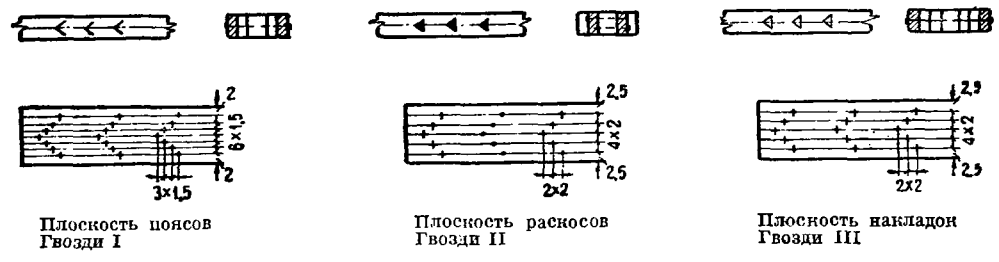
Фиг. 23. Крепление металлических подвесок к затяжке



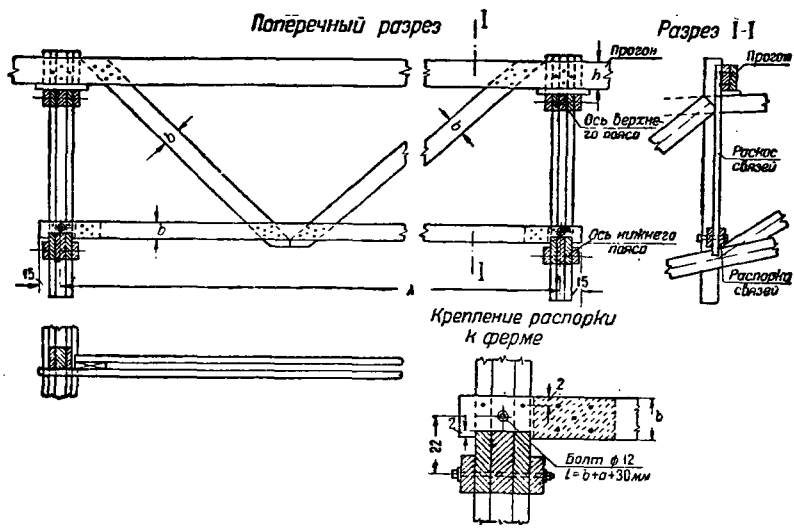
Вид с фасада фермы

Разрез по затяжке

Фиг. 25. Соединение прогонов с верхним поясом



Фиг. 26. Разметка гвоздей



Фиг. 27. Поперечные связи

В раскосах обязательна двусторонняя забивка гвоздей, дающая больше гарантии против их выдергивания.

Разметку гвоздей рекомендуется делать «галочками» (фиг. 26), дающими наиболее компактное их размещение. В равной мере это относится ко всем элементам ферм на гвоздях (фиг. 19—21).

#### а) Пояса

Верхний пояс имеет двухветвевое сечение, усиливаемое в средней части пролета средней доской.

При расчете верхнего пояса надлежит учитывать неравномерность распределения усилий в отдельных ветвях, создаваемую переходом от двухветвевое сечения к трехветвевому.

В остальном справедливы все указания, сделанные выше по отношению к поясам ферм на пагелях.

#### 4) Связи между фермами

В первом от конька узле связи, обеспечивающие устойчивость верхнего пояса, следует делать по типу фиг. 16. Во всех остальных узлах связи должны делаться по типу связей фиг. 27, обеспечивающих устойчивость как верхнего, так и нижнего пояса фермы. Эти связи располагаются либо в каждом узле фермы либо через узел. В зависимости от этого производится и расчет элементов нижнего пояса на продольный изгиб из плоскости фермы.

Прикрепление связей, раскрепляющих контур нижнего пояса, следует рассчитывать на  $\frac{1}{50}$

Таблица 11

Сечения  $a \times b$  досок поясов, раскосов и затяжек арок на гвоздях

| Нагрузка<br>в кг/м | Арка четырехпанельная |        |        | Арка шестипанельная |        |        |
|--------------------|-----------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|
|                    | пролеты в м           |        |        | пролеты в м         |        |        |
|                    | 10                    | 11     | 12     | 13                  | 14     | 15     |
| 700                | —                     | —      | —      | —                   | 35×130 | 40×130 |
| 800                | 40×160                | 40×160 | 35×130 | 40×130              | 45×130 | 50×130 |
| 1 100              | 45×160                | 45×160 | 40×130 | 45×130              | 50×130 | 40×160 |
| 1 300              | 50×160                | 50×160 | 45×130 | 50×130              | 40×160 | 45×160 |
| 1 500              | 60×160                | 60×160 | 50×130 | 45×160              | 50×160 | 50×160 |

| Нагрузка<br>в кг/м | Арка восьмипанельная |        |        |        |        |
|--------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|
|                    | Пролеты в м          |        |        |        |        |
|                    | 16                   | 17     | 18     | 19     | 20     |
| 700                | 35×130               | 35×130 | 40×130 | 45×130 | 50×130 |
| 800                | 40×130               | 45×130 | 50×130 | 40×160 | 40×160 |
| 1 100              | 40×160               | 40×160 | 40×160 | 45×160 | 50×160 |
| 1 300              | 40×160               | 45×160 | 50×160 | 50×160 | 45×190 |
| 1 500              | 45×160               | 50×160 | 45×190 | 45×190 | 50×190 |

| Нагрузка<br>в кг/м | Арка десятипанельная       |                            |                            |                            |                            |                            |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                    | Пролеты в м                |                            |                            |                            |                            |                            |
|                    | 21                         | 22                         | 23                         | 24                         | 25                         | 26                         |
| 700                | $\frac{60}{45} \times 130$ | $\frac{60}{50} \times 130$ | $\frac{50}{40} \times 160$ | $\frac{50}{40} \times 160$ | $\frac{50}{40} \times 160$ | $\frac{60}{45} \times 160$ |
| 900                | $\frac{50}{40} \times 160$ | $\frac{50}{40} \times 160$ | $\frac{40}{45} \times 160$ | $\frac{60}{50} \times 160$ | $\frac{60}{50} \times 160$ | $\frac{60}{45} \times 190$ |
| 1 100              | $\frac{60}{45} \times 160$ | $\frac{60}{50} \times 160$ | $\frac{60}{45} \times 190$ | $\frac{60}{45} \times 190$ | $\frac{60}{45} \times 190$ | $\frac{60}{50} \times 190$ |
| 1 300              | $\frac{60}{45} \times 190$ | $\frac{60}{45} \times 190$ | $\frac{60}{45} \times 190$ | $\frac{70}{50} \times 190$ | $\frac{70}{50} \times 190$ | $\frac{70}{50} \times 190$ |

Примечание. Верхняя цифра — толщина досок плоскости поясов, нижняя цифра — толщина досок плоскости раскосов.

Сечения элементов плоскости стоек принимаются толщиной во всех случаях 8 см, а шириной — такой же, как указано в таблице.

Сечения досок затяжек принимаются равными сечениям досок соответствующих плоскостей верхнего строения фермы.

часть от усилия в соответствующей панели пояса.

### 5) Типовые проекты трехшарнирных ферм на гвоздях

Типовые проекты трехшарнирных арок на гвоздях охватывают пролеты от 10 до 26 м при на-

грузках от 700 до 1500 кг/м (табл. 11) и могут быть использованы как вспомогательный материал при проектировании таких ферм с учетом замечаний, данных выше по отношению к аркам на нагелях.

Инж. В. Г. ПИСЧИКОВ

## XIV. ТРЕХШАРНИРНЫЕ АРКИ ИЗ СЕГМЕНТНЫХ ФЕРМ

### 1. Область применения

Сегментные фермы пролетом более 30 м по условиям экономного и удобного расположения стыков нижнего пояса при длине досок до 6,5 м приходится разбивать не менее как на 14—16 панелей. При таком большом числе панелей раскосы фермы (особенно в середине ее пролета) становятся крутовосходящими, что заметно отражается на увеличении удельного веса решетки, а вместе с тем общего веса фермы.

Переход к трехшарнирной арке из двух сегментных ферм позволяет значительно уменьшить 1) высоту сегментов (почти вчетверо), 2) длину панели и общую длину элементов решетки и 3) расчетное усилие в раскосах при односторонней нагрузке (почти в полтора раза).

Наряду с указанными преимуществами арочной ферме свойственен существенный недостаток: приходится добавлять третий мощный пояс, который при односторонней нагрузке работает на сжатие и требует вследствие этого постановки специальных связей, предохраняющих его от выпучивания из плоскости фермы.

В результате экономичность арочной фермы ощутима только при больших пролетах, для которых арочная ферма легче сегментной фермы. Конструктивные преимущества арочной фермы позволяют считать применение ее вполне уместным для обычных покрытий со стрелой подъема  $f \approx \frac{1}{8} l$  пролетом от 30 м и выше. При большей стрелке арка предпочтительнее фермы и при пролетах менее 30 м.

В тех случаях, когда распор арки может быть воспринят непосредственно опорами, т. е. когда не требуется постановки затяжки, арочное решение является оптимальным при любом пролете.

Безусловной областью применения арочных ферм являются особо подъемистые покрытия с воспринятым распором, например перекрытия складов сыпучих тел и т. д.

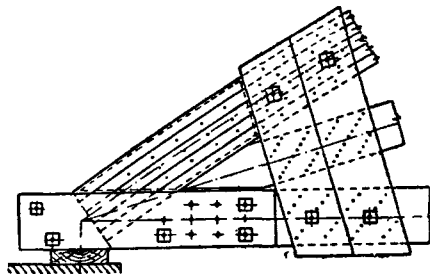
### 2. Конструкция узлов и стержней

Промежуточные узлы сегментных полуарок конструируются аналогично узлам балочных сегментных ферм<sup>1</sup>. Конструкция верхнего и нижнего поясов арочных ферм также вполне соответствует конструкции поясов балочных ферм. Равнина включается только в том, что нижний пояс арочных ферм при определенном расположении нагрузки испытывает сжимающие усилия, для восприятия которых он должен быть рассчитан на предельный изгиб со свободной длиной, равной расстоянию между связями.

Значительно отличается от балочных ферм конструкция опорных и коньковых узлов. При де-

ревянных затяжках в опорных узлах должны быть соединены три элемента — верхний и нижний пояса полуарки и затяжка. Сжатый верхний пояс и растянутая затяжка обычно сопрягаются так же, как и пояса балочных сегментных ферм; конструктивную трудность представляет присоединение нижнего пояса полуарки, могущего испытывать усилия обоих знаков.

Одна из рекомендуемых конструкций опорного узла арочных ферм дана на фиг. 1. Усилие нижнего пояса полуарки восприни-



Фиг. 1. Опорный узел арки

мается специальными прокладками и накладками и передается ими по закону рычага на верхний пояс и затяжку фермы. Обычно для восприятия усилия от нижнего пояса полуарки бывает достаточно двух слоев досок (фиг. 1). В случае особо толстых поясных досок число накладок и прокладок может быть увеличено до трех-четырех в каждом заворе. Нижний пояс полуарки соединяется с накладками и прокладками, так же как и последние — с верхним поясом и затяжкой гвоздями или болтовыми нагелями. Верхний пояс сопрягается с затяжкой одним из обычных для сегментных ферм способов<sup>2</sup>.

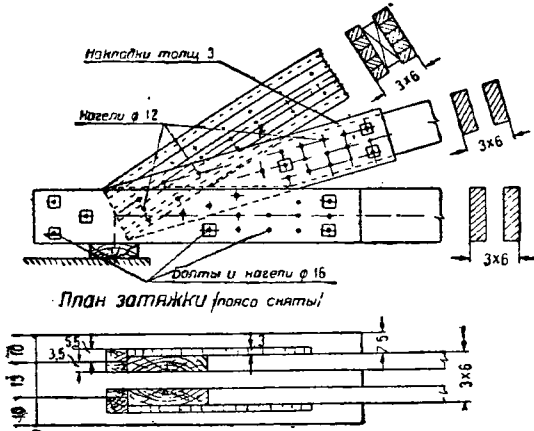
Другая возможная конструкция опорного узла, особенно уместная при двухветвевых поясах, но вполне осуществимая и при трехветвевых поясах, показана на фиг. 2. Нижний пояс полуарки перекрывается двумя тонкими накладками, охватывающими верхний пояс и имеющими торцевые упоры во вкладыши или в щечковые врубки накладок затяжки (фиг. 2). Возможное сжимающее усилие в нижнем поясе полуарки воспринимается торцами накладок, возможное же растягивающее усилие в нем передается металлическими нагелями на верхний пояс и на затяжку. Боковые накладки затяжки в отличие от обычных узлов несколько утолщены и имеют врубки для пропуски накладок нижнего пояса полуарки; опорную плоскость щечковой врубки следует направлять нормально к биссектрисе угла между верхним и нижним поясами.

<sup>1</sup> См. «Сегментные фермы».

<sup>2</sup> См. статьи «Сегментные фермы», а также «Балочные фермы».

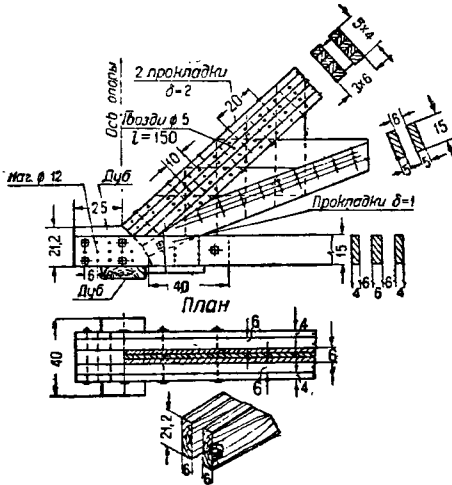


Если опорный узел конструируется на натяжных болтах или хомутах из круглого железа (по типу фиг. 33 и 34 на стр. 306 и 307), усилие нижнего пояса фермы может быть передано



Фиг. 2. Опорный узел арки

на вкладыши не через накладки, а через заменяющие их прокладки, расположенные в плоскостях решетки фермы. В этом случае прокладки



Фиг. 3. Опорный узел арки (тип ЦНИПС)

делаются из двух досок каждая и хомуты (или болты) пропускаются с помощью кольцевых дорожек, аналогичных кольцевым дорожкам прокладок узла по фиг. 33 на стр. 306.

На фиг. 3 и 4 даны опорные узлы арок пролетом 21 и 40 м, разработанные ЦНИПС.

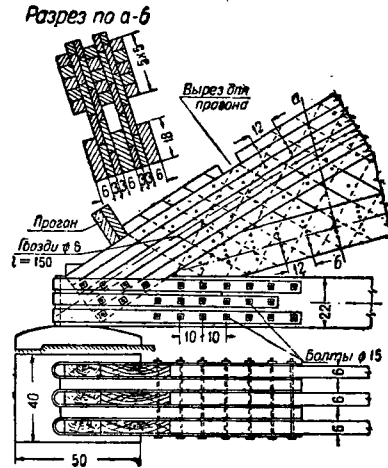
В узле по фиг. 3 нижний пояс полуарки имеет небольшую опорную площадку для передачи через торец сжимающего усилия в этом поясе.

Для восприятия растягивающего усилия в нижнем поясе крайняя панель снабжена двойной перекрестной стенкой, расположенной в плоскости решетки полуарок.

В узле по фиг. 4 торцевая площадка отсутствует и усилие в нижнем поясе как при сжатии, так и при растяжении должно быть воспринято одними перекрестными стенками.

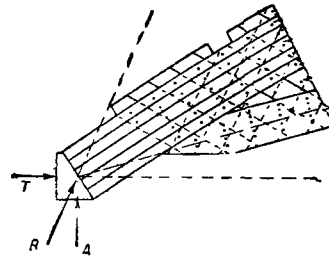
Такая конструкция опорных узлов арочных ферм неудовлетворительна по следующим сооб-

ражениям: если в узле по фиг. 4 отбросить затяжку и опорную подушку (фиг. 5) и заменить отброшенные элементы силами  $A$  и  $T$ , действующими на опорные вкладыши, то направление равнодействующей  $R$  сил  $A$  и  $T$ , возникающих от действия временной нагрузки (по схеме V, фиг. 33), будет значительно отличаться от направ-



Фиг. 4. Опорный узел арки (тип ЦНИПС)

ления верхнего пояса, в результате чего в поясе кроме простого сжатия возникнет значительный изгибающий момент. Вследствие недостаточной



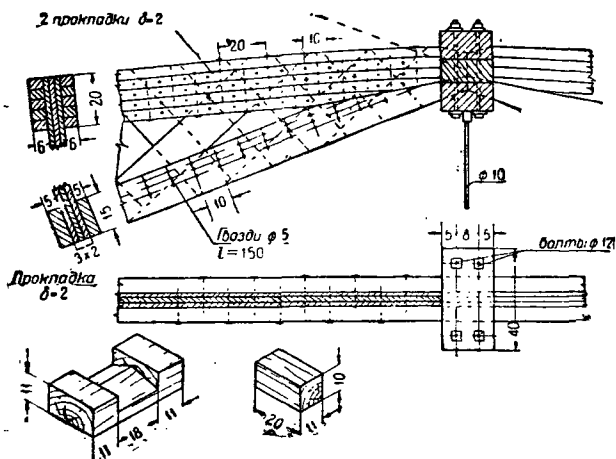
Фиг. 5. Действие сил в опорном узле по фиг. 4

связанности концов брусков, составляющих верхний пояс, изгибающий момент будет восприниматься пакетом брусков, почти не связанных между собой и не образующих монолитного сечения.

Реальный момент сопротивления пакета брусков столь невелик, что напряжения в них от силы  $R$  должны были бы оказаться близкими к временному сопротивлению дерева, если бы деформации от изгиба верхнего пояса не встретили сопротивления со стороны элементов затяжки. Наличие затяжки спасает верхний пояс от разрушения; однако возникающее при этом в затяжке добавочное напряжение, тоже весьма значительное, неизбежно понижает коэффициент запаса всей фермы.

Перенапряжения неизбежны и при расположении временной нагрузки по схеме III фиг. 33. В этом случае изгибающий момент (имеющий даже несколько большую величину, чем при нагрузке по схеме V) действует в обратную сторону и отгибает конец элемента  $O_1$  пояса вниз. Однако в этом случае верхний пояс уже не встречает под-

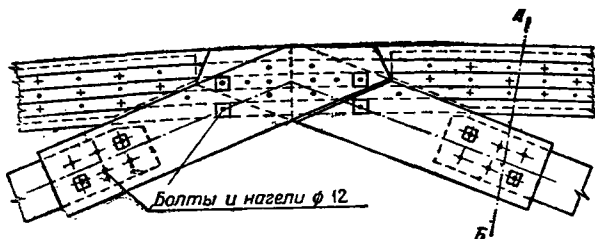
держки со стороны затяжки, что является прямой угловой целости фермы. Конструкция могла бы быть несколько улучшена постановкой специальных болтов или хомутов, связывающих верхний пояс фермы с затяжкой и вовлекающих затяжку в работу при местном изгибе элементов.



Фиг. 6. Коньковый узел (тип ЦНИПС)

Более правильно однако отказаться от опорных узлов описанного типа (фиг. 3 и 4).

Коньковые узлы арочных ферм, выполняемые в соответствии с опорными узлами по фиг. 3 и 4, с двойной перекрестной стенкой (фиг. 6) имеют



Фиг. 7. Коньковый узел

тот же недостаток, что и опорные узлы. При односторонней нагрузке реакция  $R$  шарнира (фиг. 6) создает опасный изгибающий момент в брусках верхнего пояса фермы, никак не компенсируемый ни имеющейся связью между брусками (в виде перекрестной стенки), ни возможным гвоздевым забоем.

Рациональная конструкция конькового узла изображена на фиг. 7. Нижние пояса полуарок сопрягаются между собой посредством накладок и прокладок, врубленных взаимно вполдерева и соединенных на болтах и нагелях небольшого диаметра, не слишком ослабляющих бруски верхнего пояса.

Узлы этого типа пригодны как для арок, собираемых полностью на земле и устанавливаемых на место в собранном уже виде, так и для арок, собираемых для облегчения подъема и установки из отдельных полуарок. В последнем случае болты и нагели, проходящие через концы всех накладок и прокладок, ставятся на место после подъема и установки обеих полуарок.

Если арки поднимаются в целом собранном виде, надобность в коньковом стыке верхнего

пояса отпадает и пояс этот, как и в обычных сегментных фермах, может быть выполнен неравным от опоры до опоры.

Связи, раскрепляющие нижний пояс сегментных полуарок, могут быть выполнены либо по типу поперечных решетчатых ферм (фиг. 20) либо по типу подкосов (фиг. 8).

В последнем случае нижний пояс следует рассчитывать на продольный изгиб, как стержень в упругой среде<sup>1</sup>, принимая необходимый коэффициент запаса не менее трех и предполагая, что при деформации системы прогоны  $AA$  (фиг. 8) принимают волнообразную форму (фиг. 9).

Связи треугольной системы, связывающие фермы попарно, значительно более надежны и жестки и должны применяться во всех случаях, когда это не противоречит архитектурно-эстетическим требованиям.

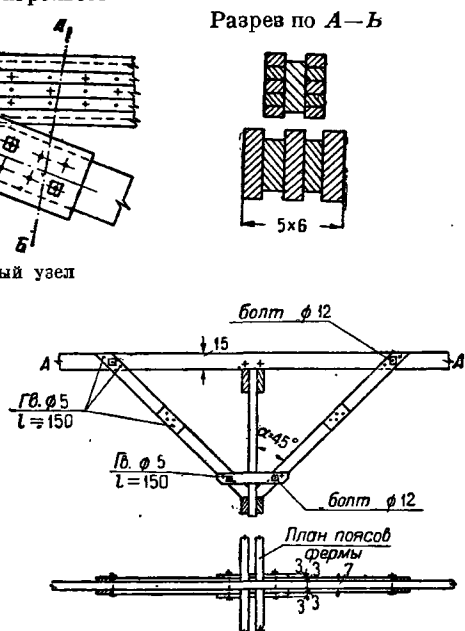
### 3. Требования к материалу

Как и обычные сегментные фермы, арки из сегментных ферм могут изготавливаться из рядового пиломатериала. Исключение составляет затяжка, требующая применения отборного леса без значительных сучков, свилеватости, косослоя и других пороков.

### 4. Примеры арочных ферм

а) На фиг. 10 — 20 представлена трехшарнирная арка из сегментных ферм пролетом 53,5 м.

Кроме кровли арка несет в отдельных точках значительную нагрузку от подвешенных к ней монорейсов<sup>2</sup>.



Фиг. 8. Подкосные связи между арками

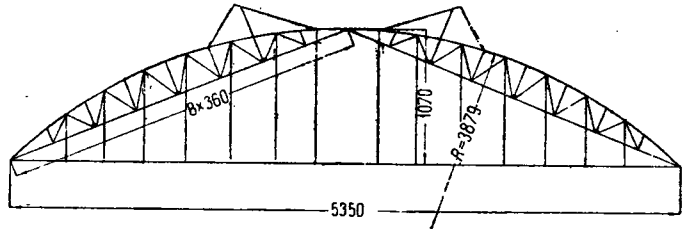
При расчете фермы нагрузка от монорейсов вводилась с динамическим коэффициентом 1,25, и усилия в элементах фермы определялись по

<sup>1</sup> См. Тимошенко, Курс сопротивления материалов, ГНТИ 1931 г., стр. 538.

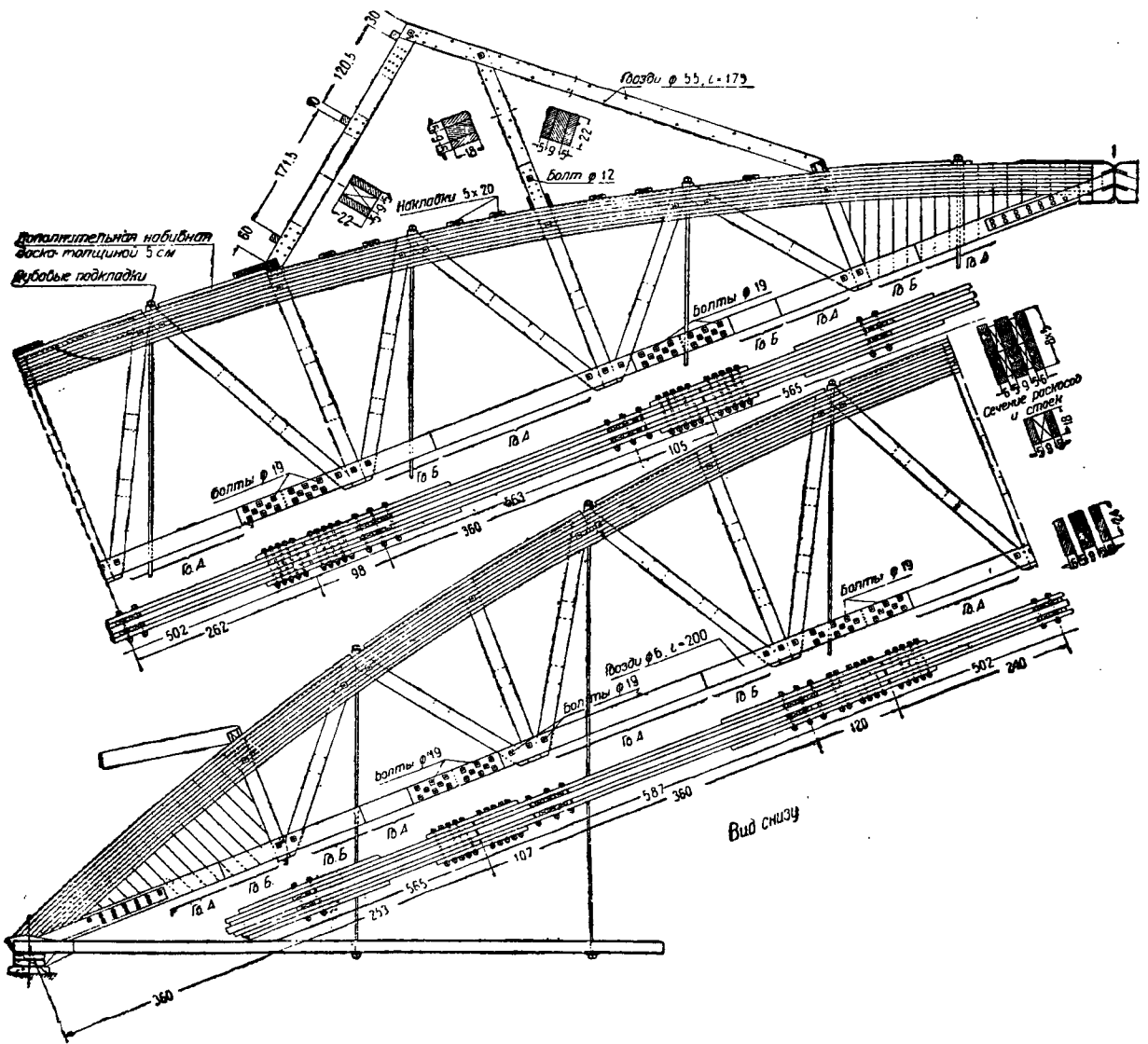
<sup>2</sup> Проект выполнен Промстройпроектом (Металлостройпроект) в 1932 г.



Фиг. 9. Схемы деформации связей



Фиг. 10. Схема арки пролетом 53,5 м

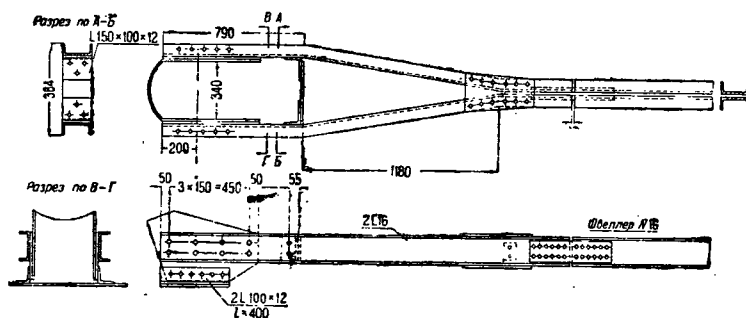


Объем дерева на арку пролетом 53,5 м — 14,3 м<sup>3</sup>  
 Вес железа на арку (кроме затяжки, подвесок, опорных башмаков шарнира) — 580 кг

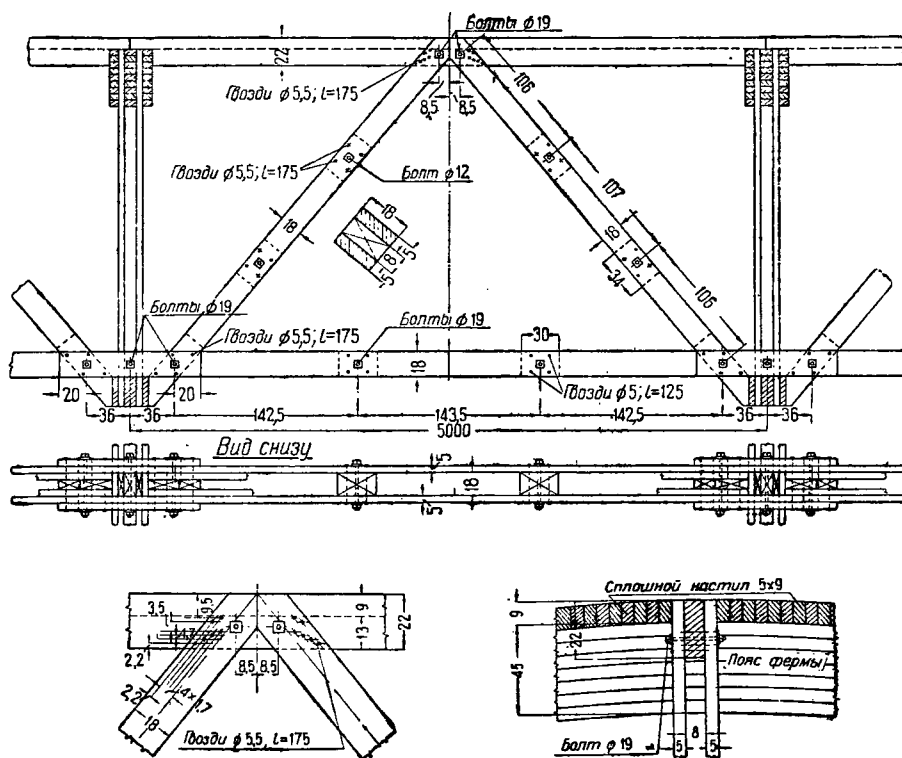
Фиг. 11. Фасад арки пролетом 53,5 м



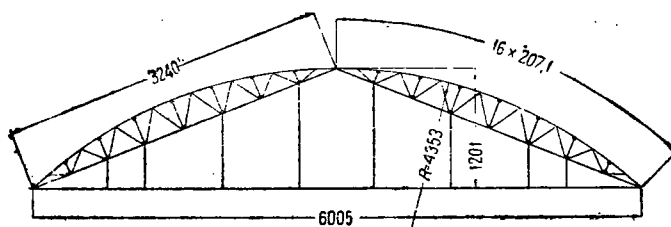




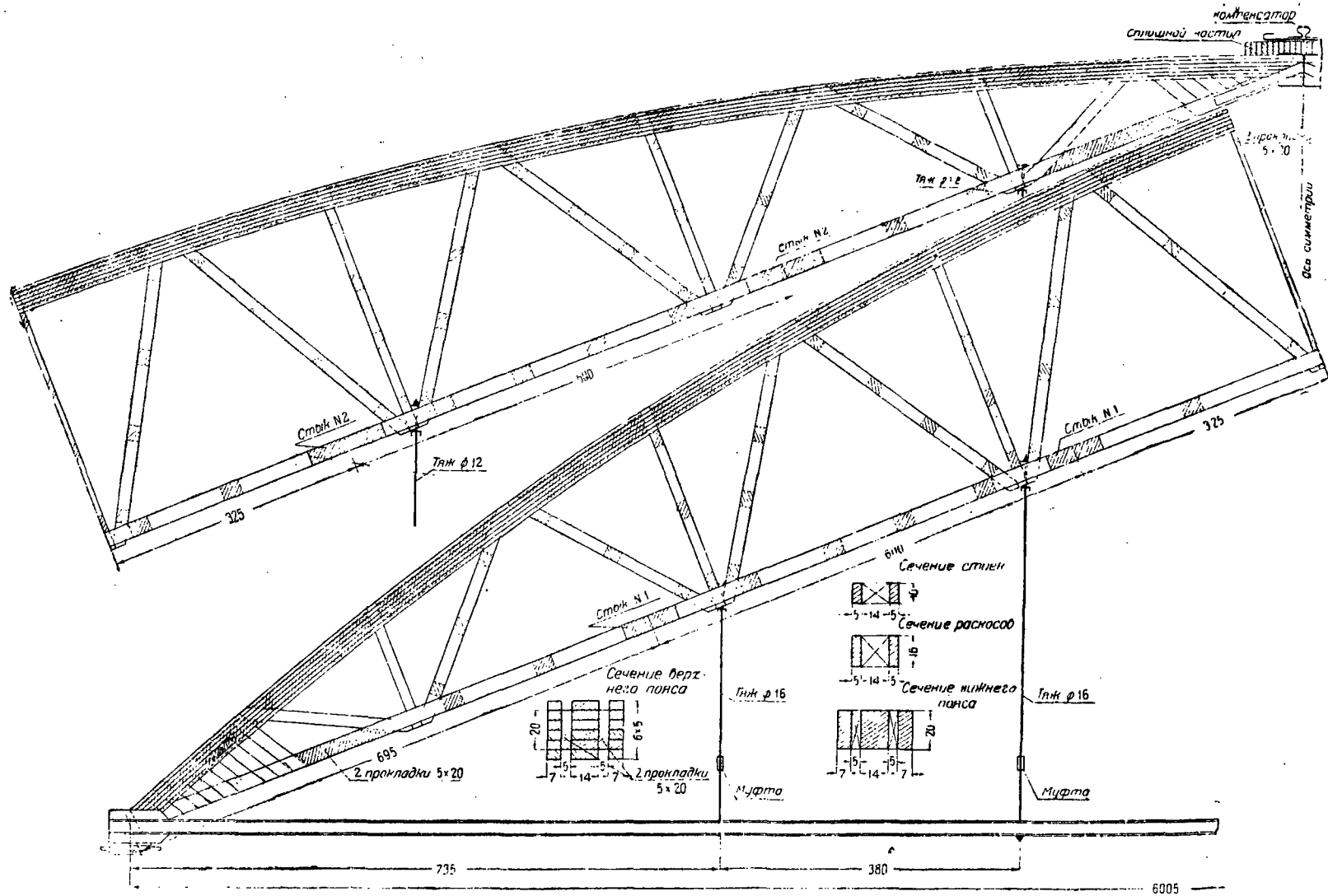
Фиг. 19. Клепанный опорный башмак



Фиг. 20. Связи между арками



Фиг. 21. Схема арки пролетом 60,05 м

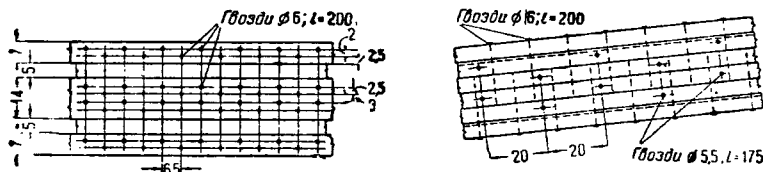


Объем дерева на одну арку  $V = 13,1 \text{ м}^3$ . Вес железа на одну арку кроме затяжек и опорных башмаков равен 787 кг  
 Фиг. 22. Фасад арки пролетом 60,05 м

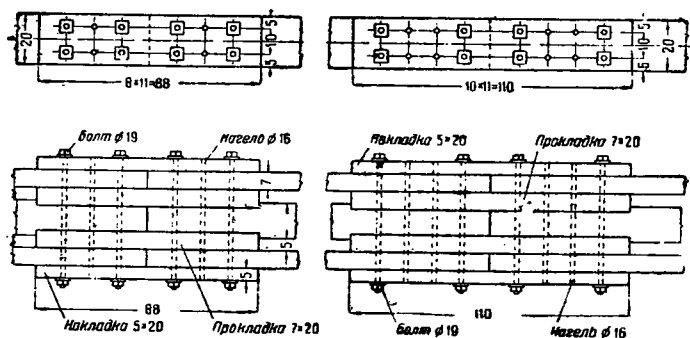
линиям влияния. Ввиду большого пролета конструкции допускаемые напряжения были снижены до 70 кг/см<sup>2</sup>. Это обусловило значительную массивность элементов фермы.

Верхний пояс состоит из трех ветвей, в каждой из которых бруски расположены в восемь рядов

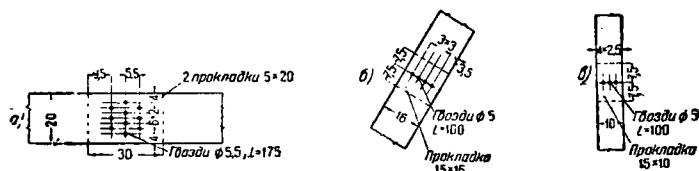
Поперечные связи, обеспечивающие устойчивость нижнего пояса, расположены через узел, благодаря чему свободная длина нижнего пояса на продольный изгиб равна 7,2 м. В середине этой длины прерываемые в узле прокладки нижнего пояса компенсируются специальными на-



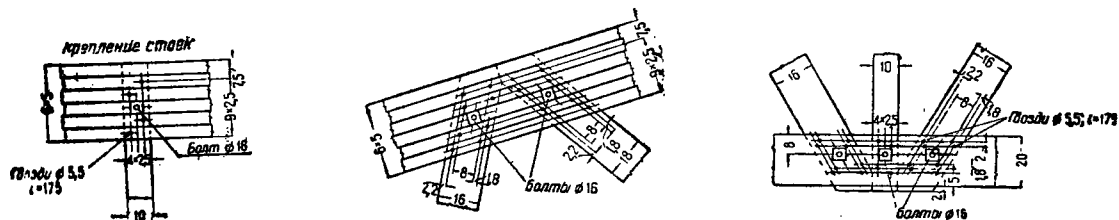
Фиг. 23. Расположение гвоздей в верхнем поясе арки



Фиг. 24. Стыки нижнего пояса арки



Фиг. 25. Расположение гвоздей в прокладках нижнего пояса (а), раскосов (б) и стоек (в)



Фиг. 26. Крепление решетки к верхнему и нижнему поясу

(фиг. 11). Ребровые прокладки по высоте пояса состоят из двух досок высотой по 20 м.

Металлическая ватяжка подвешена к ттяжам из круглого железа, пропущенным сквозь верхний пояс фермы и закрепленным сверху с помощью гаек.

Ввиду этого для более удобной укладки деревянных плит по верхнему поясу нашиты короткие подкладки, не принимающие участия в работе пояса и уменьшающие необходимую зарезку гаек в деревоплиту.

Нижние пояса полуарок состоят из трех досок и имеют сплошные прокладки от узла до узла.

кладками, охватывающими пояс с двух сторон. Накладки и прокладки скрепляются с поясом гвоздями (фиг. 11 и 12).

Стык нижнего пояса сконструирован на болтах<sup>1</sup> (фиг. 12). В местах пропуска через нижний пояс подвесок, поддерживающих ватяжку, болты в стыках несколько смещаются (фиг. 11) против типового расположения по фиг. 12.

Горизонтальные гвозди верхнего пояса (фиг. 13), расположенные во всех брусках кроме самого

<sup>1</sup> Ферма сконструирована до введения нагельных стыков в типовое проектирование.

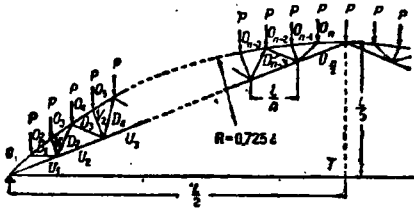






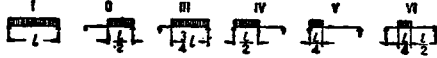
5. Усилия в стержнях арочных ферм

Таблица 1



Усилия в стержнях трехшарнирных арок из сегментных ферм от единичной вертикальной нагрузки 1 при подъеме арки

Схемы нагрузки (II+IV-I; III+V-I; V+VI-IV)



Фиг. 32. Схема арки

$f = 1/5 l$

| Элементы        | Схема нагрузки | Число панелей по верхнему поясу |              |               |                 |                  |                   |                   |
|-----------------|----------------|---------------------------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|
|                 |                | n = 8                           | n = 10       | n = 12        | n = 14          | n = 16           | n = 18            | n = 20            |
| O <sub>1</sub>  | I              | -10,4                           | -13,1        | -15,8         | -18,4           | -21,0            | -23,8             | -26,4             |
| O <sub>2</sub>  | I              | -10,1                           | -12,8        | -15,4         | -18,1           | -20,6            | -23,4             | -25,9             |
| O <sub>3</sub>  | I              | -9,6                            | -12,2        | -14,8         | -17,4           | -20,0            | -22,7             | -25,2             |
| O <sub>4</sub>  | I              | -9,6                            | -12,2        | -14,9         | -17,5           | -20,0            | -22,8             | -25,3             |
| O <sub>5</sub>  | I              | -9,3                            | -11,8        | -14,4         | -16,9           | -19,5            | -22,2             | -24,7             |
| O <sub>6</sub>  | I              | -9,4                            | -11,9        | -14,5         | -17,1           | -19,6            | -22,2             | -24,7             |
| O <sub>7</sub>  | I              | -9,2                            | -11,7        | -14,1         | -16,6           | -19,1            | -21,8             | -24,2             |
| O <sub>8</sub>  | I              | -9,3                            | -11,9        | -14,3         | -16,7           | -19,2            | -21,8             | -24,3             |
| O <sub>9</sub>  | I              | -11,7                           | -11,7        | -14,0         | -16,4           | -18,9            | -21,5             | -23,9             |
| O <sub>10</sub> | I              | -11,8                           | -11,8        | -14,2         | -16,6           | -19,0            | -21,6             | -23,9             |
| O <sub>11</sub> | I              |                                 | -14,0        | -14,0         | -16,4           | -18,7            | -21,2             | -23,6             |
| O <sub>12</sub> | I              |                                 | -14,1        | -14,1         | -16,5           | -18,9            | -21,4             | -23,8             |
| O <sub>13</sub> | I              |                                 |              | -16,4         | -16,4           | -18,7            | -21,1             | -23,5             |
| O <sub>14</sub> | I              |                                 |              | -16,5         | -16,5           | -18,9            | -21,3             | -23,6             |
| O <sub>15</sub> | I              |                                 |              | -16,4         | -16,4           | -18,8            | -21,1             | -23,4             |
| O <sub>16</sub> | I              |                                 |              | -18,9         | -18,9           | -21,3            | -23,6             | -23,6             |
| O <sub>17</sub> | I              |                                 |              | -21,2         | -21,2           | -23,4            | -23,4             | -23,4             |
| O <sub>18</sub> | I              |                                 |              | -21,3         | -21,3           | -23,6            | -23,6             | -23,6             |
| O <sub>19</sub> | I              |                                 |              | -21,3         | -21,3           | -23,6            | -23,6             | -23,6             |
| O <sub>20</sub> | I              |                                 |              | -23,6         | -23,6           | -23,6            | -23,6             | -23,6             |
|                 | I              | +9,5                            | +11,9        | +14,2         | +16,6           | +19,0            | +21,4             | +23,7             |
| U <sub>1</sub>  | III<br>V       | -6,5<br>+4,8                    | -8,2<br>+6,0 | -10,0<br>+7,3 | -11,7<br>+8,5   | -13,3<br>+9,6    | -15,2<br>+11,2    | -16,9<br>+12,3    |
| U <sub>2</sub>  | III<br>V       | -5,3<br>+4,2                    | -7,1<br>+5,5 | -9,0<br>+7,0  | -10,6<br>+8,1   | -12,5<br>+9,5    | -14,3<br>+10,4    | -16,1<br>+12,1    |
| U <sub>3</sub>  | II<br>IV       | -5,1<br>+4,5                    | -6,4<br>+5,4 | -7,7<br>+6,3  | -9,5*<br>+7,6** | -11,2*<br>+8,8** | -13,1*<br>+10,3** | -15,1*<br>+11,7** |
| U <sub>4</sub>  | II<br>IV       | -5,1<br>+4,9                    | -6,4<br>+5,9 | -7,7<br>+6,8  | -9,0<br>+7,6    | -10,2<br>+8,4    | -11,6*<br>+9,4**  | -13,6*<br>+10,8** |
| U <sub>5</sub>  | II<br>IV       |                                 | -6,4<br>+6,3 | -7,7<br>+7,2  | -9,0<br>+8,1    | -10,2<br>+8,9    | -11,5<br>+9,8     | -12,8<br>+10,6    |
| U <sub>6</sub>  | II<br>IV       |                                 |              | -7,7<br>+7,5  | -9,0<br>+8,5    | -10,2<br>+9,4    | -11,5<br>+10,3    | -12,8<br>+11,1    |
| U <sub>7</sub>  | II<br>IV       |                                 |              |               | -9,0<br>+8,8    | -10,2<br>+9,8    | -11,5<br>+10,7    | -12,8<br>+11,6    |
| U <sub>8</sub>  | II<br>IV       |                                 |              |               |                 | -10,2<br>+10,1   | -11,5<br>+11,1    | -12,8<br>+12,0    |
| U <sub>9</sub>  | II<br>IV       |                                 |              |               |                 |                  | -11,5<br>+11,4    | -12,8<br>+12,3    |
| U <sub>10</sub> | II<br>IV       |                                 |              |               |                 |                  |                   | -12,8<br>+12,7    |
| D <sub>1</sub>  | V<br>VI        | -0,1<br>+0,5                    | -0,1<br>+0,5 | -0,1<br>+0,5  | -0,1<br>+0,5    | 0<br>+0,4        | -0,2<br>+0,6      | 0<br>+0,4         |
| D <sub>2</sub>  | VI<br>V        | -0,9<br>+0,6                    | -0,8<br>+0,4 | -0,7<br>+0,3  | -0,7<br>+0,2    | -0,6<br>+0,1     | -0,7<br>+0,2      | -0,6<br>+0,1      |
| D <sub>3</sub>  | V<br>VI        | -1,0<br>+1,3                    | -0,6<br>+1,0 | -0,5<br>+0,9  | -0,4<br>+0,8    | -0,4<br>+0,8     | -0,7<br>+1,1      | -0,2<br>+0,7      |
| D <sub>4</sub>  | VI<br>V        | -1,4<br>+1,1                    | -1,5<br>+1,1 | -1,3<br>+0,9  | -1,2<br>+0,7    | -1,0<br>+0,5     | -1,2<br>+0,7      | -1,0<br>+0,4      |

Продолжение

| Элементы        | Схема нагрузки | Число панелей по верхнему поясу |              |              |              |              |              |              |
|-----------------|----------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                 |                | n = 8                           | n = 10       | n = 12       | n = 14       | n = 16       | n = 18       | n = 20       |
| D <sub>5</sub>  | V<br>VI        | -0,6<br>+0,9                    | -1,2<br>+1,6 | -1,3<br>+1,7 | -1,1<br>+1,5 | -0,8<br>+1,3 | -0,7<br>+1,2 | -0,6<br>+1,2 |
| D <sub>6</sub>  | VI<br>V        | -0,6<br>+0,4                    | -1,1<br>+0,8 | -1,8<br>+1,4 | -2,0<br>+1,6 | -1,7<br>+1,2 | -1,6<br>+1,0 | -1,5<br>+0,9 |
| D <sub>7</sub>  | V<br>VI        |                                 | -0,6<br>+0,9 | -1,1<br>+1,4 | -1,6<br>+2,0 | -1,6<br>+2,1 | -1,4<br>+1,9 | -0,8<br>+1,4 |
| D <sub>8</sub>  | VI<br>V        |                                 | -0,9<br>+0,7 | -1,0<br>+0,7 | -1,5<br>+1,1 | -2,1<br>+1,7 | -2,4<br>+1,9 | -2,2<br>+1,6 |
| D <sub>9</sub>  | V<br>VI        |                                 |              | -0,5<br>+0,8 | -1,0<br>+1,3 | -1,4<br>+1,8 | -1,9<br>+2,4 | -2,0<br>+2,6 |
| D <sub>10</sub> | VI<br>V        |                                 |              | -0,6<br>+0,4 | -0,9<br>+0,6 | -1,4<br>+1,0 | -2,0<br>+1,6 | -2,6<br>+2,0 |
| D <sub>11</sub> | V<br>VI        |                                 |              |              | -0,6<br>+0,8 | -0,9<br>+1,2 | -1,3<br>+1,7 | -1,7<br>+2,2 |
| D <sub>12</sub> | VI<br>V        |                                 |              |              | -0,5<br>+0,3 | -0,9<br>+0,6 | -1,4<br>+1,0 | -1,5<br>+1,0 |
| D <sub>13</sub> | V<br>VI        |                                 |              |              |              | -0,6<br>+0,8 | -0,9<br>+1,2 | -1,1<br>+1,6 |
| D <sub>14</sub> | VI<br>V        |                                 |              |              |              | -0,5<br>+0,3 | -0,9<br>+0,6 | -1,3<br>+0,9 |
| D <sub>15</sub> | V<br>VI        |                                 |              |              |              |              | -0,6<br>+0,8 | -0,7<br>+1,1 |
| D <sub>16</sub> | VI<br>V        |                                 |              |              |              |              | -0,6<br>+0,4 | -1,5<br>+1,2 |
| D <sub>17</sub> | V<br>VI        |                                 |              |              |              |              |              | -1,2<br>+1,4 |
| D <sub>18</sub> | VI<br>V        |                                 |              |              |              |              |              | -0,5<br>+0,3 |
| V <sub>1</sub>  | VI<br>V        | +0,3<br>-0,2                    | +0,3<br>-0,1 | +0,3<br>-0,1 | +0,3<br>-0,1 | +0,3<br>-0,1 | +0,3<br>-0,1 | +0,3<br>-0,1 |
| V <sub>2</sub>  | VI<br>V        | +0,1<br>-0,2                    | +0,4<br>-0,3 | +0,4<br>-0,3 | +0,4<br>-0,3 | +0,3<br>-0,2 | +0,3<br>-0,2 | +0,3<br>-0,2 |
| V <sub>3</sub>  | VI<br>V        | -0,3<br>+0,2                    | -0,4<br>+0,3 | +0,3<br>-0,4 | +0,4<br>-0,3 | +0,4<br>-0,3 | +0,4<br>-0,3 | +0,3<br>-0,2 |
| V <sub>4</sub>  | VI<br>V        |                                 | -0,4<br>+0,3 | -0,4<br>+0,3 | -0,4<br>+0,3 | +0,1<br>-0,2 | +0,5<br>-0,5 | +0,4<br>-0,3 |
| V <sub>5</sub>  | VI<br>V        |                                 |              | -0,4<br>+0,3 | -0,4<br>+0,3 | -0,4<br>+0,3 | -0,4<br>+0,3 | +0,1<br>-0,2 |
| V <sub>6</sub>  | VI<br>V        |                                 |              |              | -0,4<br>+0,3 | -0,4<br>+0,3 | -0,4<br>+0,3 | -0,4<br>+0,3 |
| V <sub>7</sub>  | VI<br>V        |                                 |              |              |              | -0,4<br>+0,3 | -0,4<br>+0,3 | -0,3<br>+0,1 |
| V <sub>8</sub>  | VI<br>V        |                                 |              |              |              |              | -0,4<br>+0,3 | -0,4<br>+0,3 |
| V <sub>9</sub>  | VI<br>V        |                                 |              |              |              |              |              | -0,4<br>+0,3 |

Примечания: 1. Составлено по материалам ЦНИПС.

2. Цифры, помеченные значком \*, соответствуют нагрузке по схеме III, помеченные значком \*\*, — соответствуют нагрузке по схеме V. Суммирование схем II + IV или же III + V дает усилия от полной нагрузки. Суммирование схем V + VI дает усилия от односторонней нагрузки.

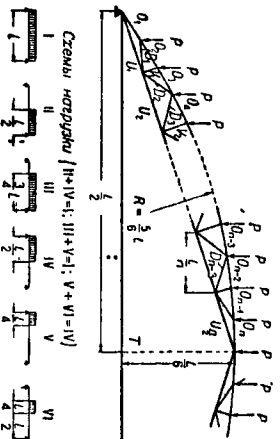


Схема мостовки (II+IV=I; III+V=I; V+VI=IV)

Углы в стержнях трапециевидных арок на сетчатых формах от единичной вертикальной нагрузки при подьеме арок

Фиг. 33. Схема арок

$$f = 1/6 l.$$

Число панелей по верхнему поясу в полупролете

| Элементы         | Схема нагрузки | Число панелей по верхнему поясу в полупролете |        |        |        |         |         |         |  |
|------------------|----------------|---|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--|
|                  |                | n = 8   | n = 10 | n = 12 | n = 14 | n = 16  | n = 18  | n = 20  |  |
| O <sub>1</sub>   | I              | -12,4   | -15,6  | -18,7  | -22,0  | -24,8   | -27,9   | -31,1   |  |
| O <sub>2</sub>   | I              | -12,1   | -15,3  | -18,4  | -21,6  | -24,5   | -27,9   | -30,7   |  |
| O <sub>3</sub>   | I              | -11,7   | -14,9  | -17,8  | -21,0  | -24,0   | -27,0   | -30,2   |  |
| O <sub>4</sub>   | I              | -11,7   | -14,9  | -17,9  | -20,5  | -23,6   | -26,6   | -29,7   |  |
| O <sub>5</sub>   | I              | -11,4   | -14,5  | -17,5  | -20,6  | -23,7   | -26,7   | -29,7   |  |
| O <sub>6</sub>   | I              | -11,5   | -14,5  | -17,5  | -20,2  | -23,2   | -26,2   | -29,3   |  |
| O <sub>7</sub>   | I              | -11,4   | -14,3  | -17,2  | -20,3  | -23,4   | -26,3   | -29,4   |  |
| O <sub>8</sub>   | I              | -11,5   | -14,2  | -17,1  | -20,1  | -23,0   | -25,9   | -29,0   |  |
| O <sub>9</sub>   | I              | -11,5   | -14,2  | -17,1  | -20,2  | -23,2   | -26,0   | -29,1   |  |
| O <sub>10</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,3  | -20,2  | -23,2   | -25,7   | -28,8   |  |
| O <sub>11</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,2  | -20,0  | -22,9   | -25,7   | -28,8   |  |
| O <sub>12</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,2  | -20,2  | -23,1   | -25,7   | -28,7   |  |
| O <sub>13</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,2  | -20,1  | -23,0   | -25,7   | -28,8   |  |
| O <sub>14</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,2  | -20,2  | -23,0   | -25,7   | -28,8   |  |
| O <sub>15</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,2  | -20,2  | -23,0   | -25,7   | -28,8   |  |
| O <sub>16</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,2  | -20,2  | -23,0   | -25,7   | -28,8   |  |
| O <sub>17</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,2  | -20,2  | -23,0   | -25,7   | -28,8   |  |
| O <sub>18</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,2  | -20,2  | -23,0   | -25,7   | -28,8   |  |
| O <sub>19</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,2  | -20,2  | -23,0   | -25,7   | -28,8   |  |
| O <sub>20</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,2  | -20,2  | -23,0   | -25,7   | -28,8   |  |
| O <sub>26</sub>  | I              | -11,5   | -14,3  | -17,2  | -20,2  | -23,0   | -25,7   | -28,8   |  |
| U <sub>1</sub>   | I              | +11,6   | +14,5  | +17,4  | +20,2  | +23,1   | +26,0   | +28,9   |  |
| U <sub>2</sub>   | III            | -7,6  | -9,6   | -11,5  | -13,8  | -15,7   | -17,1   | -19,6   |  |
| U <sub>3</sub>   | V              | +6,2  | +7,8   | +9,3   | +11,3  | +12,5   | +14,1   | +15,7   |  |
| U <sub>4</sub>   | III            | -6,6  | -8,3   | -10,5  | -12,7  | -14,8   | -16,8   | -18,6   |  |
| U <sub>5</sub>   | V              | +5,7  | +7,1   | +8,9   | +10,7  | +12,3   | +13,8   | +15,3   |  |
| U <sub>6</sub>   | III            | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>7</sub>   | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>8</sub>   | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>9</sub>   | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>10</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>11</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>12</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>13</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>14</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>15</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>16</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>17</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>18</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>19</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>20</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>21</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>22</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>23</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>24</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>25</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>26</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>27</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>28</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>29</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>30</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>31</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>32</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>33</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>34</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>35</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>36</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>37</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>38</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>39</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>40</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>41</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>42</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>43</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>44</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>45</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>46</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>47</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>48</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>49</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>50</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>51</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>52</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>53</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>54</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>55</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>56</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>57</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>58</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>59</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>60</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>61</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>62</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>63</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>64</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>65</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>66</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>67</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>68</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>69</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>70</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>71</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>72</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>73</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>74</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>75</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>76</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>77</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>78</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>79</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>80</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>81</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>82</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>83</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>84</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>85</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>86</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>87</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>88</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>89</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>90</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>91</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>92</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>93</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>94</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>95</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>96</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>97</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>98</sub>  | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>99</sub>  | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +9,5** | +11,3** | +13,0** | +14,6** |  |
| U <sub>100</sub> | II             | -6,1  | -7,6   | -9,1   | -10,7  | -12,2   | -13,7   | -15,2   |  |
| U <sub>101</sub> | IV             | +5,8  | +6,8   | +7,9   | +      |         |         |         |  |

Продолжение

| Элементы        | Схема нагрузки | Число панелей по верхнему поясу в полупролете |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|----------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 |                | n = 8   | n = 10 | n = 12 | n = 14 | n = 16 | n = 18 | n = 20 |
| D <sub>5</sub>  | V              | - 0,9   | - 1,4  | - 1,6  | - 1,2  | - 1,0  | - 0,9  | - 0,8  |
|                 | VI             | + 1,1   | + 1,7  | + 1,9  | + 1,5  | + 1,4  | + 1,3  | + 1,2  |
| D <sub>6</sub>  | VI             | - 0,8   | - 1,2  | - 1,9  | - 2,1  | - 1,8  | - 1,7  | - 1,5  |
|                 | V              | + 0,6   | + 1,0  | + 1,7  | + 1,3  | + 1,4  | + 1,3  | + 1,0  |
| D <sub>7</sub>  | V              |   | - 0,7  | - 1,3  | - 1,3  | - 1,9  | - 1,6  | - 1,4  |
|                 | VI             |   | + 0,9  | + 1,5  | + 2,1  | + 2,3  | + 2,0  | + 1,8  |
| D <sub>8</sub>  | VI             |   | - 0,7  | - 1,0  | - 1,6  | - 2,3  | - 2,9  | - 2,2  |
|                 | V              |   | + 0,3  | + 0,8  | + 1,3  | + 2,0  | + 2,5  | + 1,7  |
| D <sub>9</sub>  | V              |   |        | - 0,6  | - 1,1  | - 1,6  | - 2,5  | - 2,3  |
|                 | VI             |   |        | + 0,8  | + 1,4  | + 1,9  | + 2,9  | + 2,7  |
| D <sub>10</sub> | VI             |   |        | - 0,6  | - 1,0  | - 1,5  | - 2,1  | - 2,7  |
|                 | V              |   |        | + 0,4  | + 0,8  | + 1,2  | + 1,8  | + 2,3  |
| D <sub>11</sub> | V              |   |        |        | - 0,6  | - 0,9  | - 1,5  | - 1,9  |
|                 | VI             |   |        |        | + 0,8  | + 1,2  | + 1,8  | + 2,3  |
| D <sub>12</sub> | VI             |   |        |        | - 0,6  | - 0,9  | - 1,4  | - 1,9  |
|                 | V              |   |        |        | + 0,4  | + 0,7  | + 1,2  | + 1,6  |
| D <sub>13</sub> | V              |   |        |        |        | - 0,6  | - 1,0  | - 1,4  |
|                 | VI             |   |        |        |        | + 0,8  | + 1,2  | + 1,7  |
| D <sub>14</sub> | VI             |   |        |        |        | - 0,6  | - 0,9  | - 1,3  |
|                 | V              |   |        |        |        | + 0,5  | + 0,7  | + 1,0  |
| D <sub>15</sub> | V              |   |        |        |        |        | - 0,6  | - 1,0  |
|                 | VI             |   |        |        |        |        | + 0,8  | + 1,2  |
| D <sub>16</sub> | VI             |   |        |        |        |        | - 0,6  | - 0,9  |
|                 | V              |   |        |        |        |        | + 0,5  | + 0,7  |
| D <sub>17</sub> | V              |   |        |        |        |        |        | - 0,6  |
|                 | VI             |   |        |        |        |        |        | + 0,8  |
| D <sub>18</sub> | VI             |   |        |        |        |        |        | - 0,6  |
|                 | V              |   |        |        |        |        |        | + 0,5  |
| V <sub>1</sub>  | VI             | + 0,3   | + 0,4  | + 0,3  | + 0,3  | + 0,3  | + 0,3  | + 0,3  |
|                 | V              | - 0,2   | - 0,3  | - 0,2  | - 0,2  | - 0,2  | - 0,2  | - 0,2  |
| V <sub>2</sub>  | VI             | + 0,1   | + 0,4  | + 0,4  | + 0,4  | + 0,3  | + 0,3  | + 0,3  |
|                 | V              | - 0,2   | - 0,3  | - 0,3  | - 0,3  | - 0,2  | - 0,2  | - 0,2  |
| V <sub>3</sub>  | VI             | - 0,4   | - 0,4  | + 0,1  | + 0,5  | + 0,4  | + 0,4  | + 0,4  |
|                 | V              | + 0,3   | + 0,3  | - 0,2  | - 0,4  | - 0,3  | - 0,3  | - 0,3  |
| V <sub>4</sub>  | VI             |   | - 0,3  | - 0,4  | - 0,4  | + 0,1  | + 0,5  | + 0,4  |
|                 | V              |   | + 0,2  | + 0,3  | + 0,3  | - 0,2  | - 0,4  | - 0,3  |
| V <sub>5</sub>  | VI             |   |        | - 0,3  | - 0,4  | - 0,4  | - 0,4  | - 0,1  |
|                 | V              |   |        | + 0,2  | + 0,3  | + 0,3  | + 0,3  | 0,0    |
| V <sub>6</sub>  | VI             |   |        |        | - 0,3  | - 0,3  | - 0,4  | - 0,4  |
|                 | V              |   |        |        | + 0,2  | + 0,2  | + 0,3  | + 0,3  |
| V <sub>7</sub>  | VI             |   |        |        |        | - 0,3  | - 0,3  | - 0,4  |
|                 | V              |   |        |        |        | + 0,2  | + 0,2  | + 0,3  |
| V <sub>8</sub>  | VI             |   |        |        |        |        | - 0,3  | - 0,3  |
|                 | V              |   |        |        |        |        | + 0,2  | + 0,2  |
| V <sub>9</sub>  | VI             |   |        |        |        |        |        | - 0,3  |
|                 | V              |   |        |        |        |        |        | + 0,2  |

Примечания: 1. Составлено по материалам ЦНИИП.

2. Цифры, помеченные значком \*, соответствуют нагрузке по схеме III, помеченные значком \*\*, — соответствуют нагрузке по схеме V. Суммирование схем II + IV или же III + V дает условия от полной нагрузки. Суммирование схем V + VI дает условия от односторонней нагрузки.

В крайних панелях поставлены силовые прокладки, и верхний и нижний пояса соединены двумя сплошными рядами раскосов (фиг. 22, 27, 28).

Крепление к поясам решетки (фиг. 26) не отличается от типовых узлов сегментных ферм.

В опорных узлах (фиг. 27) нижний пояс имеет самостоятельные упорные вкладыши. Однако перелом направления усилия при переходе силы сжатия с нижнего пояса на вкладыш создает вредный местный изгибающий момент в брусках верхнего пояса (стр. 422).

Столь же вредный изгибающий момент появится в брусках верхнего пояса при расположении временной нагрузки, вызывающей растягивающее усилие в нижнем поясе арки.

В коньковом узле (фиг. 28) этот недостаток отсутствует благодаря наличию металлических хо-

мутов, непосредственно передающих усилие нижнего пояса в центр конькового узла.

Сдвигу одной полуарки относительно другой препятствуют три железных S-образных хомута.

В каждом узле нижнего пояса располагаются связи, соединяющие фермы попарно и обеспечивающие устойчивость нижнего пояса при сжатии (фиг. 29). Крестовые раскосы связей работают только на растяжение.

Крепление подвесок к арке и к затяжке (фиг. 30) осуществлено без ослабления сечения этих элементов.

Затяжка арки из двух швеллеров и опорный башмак (фиг. 31) имеют форму, обычную для металлических конструкций.

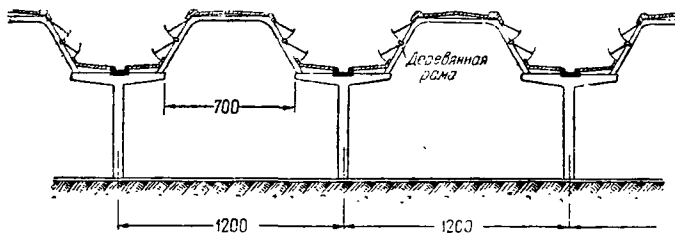
Пряс. А. А. НОВИКОВ

## ХV. РАМНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ФОНАРЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ<sup>1</sup>

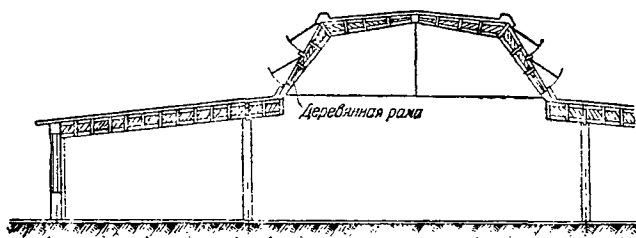
### 1. Общие сведения

#### 1) Область применения

В современных промышленных зданиях по условиям их эксплуатации каркасные стены и внутренние опоры покрытий, как правило, выполняются из негорюемых материалов и габаритов.



Фиг. 1. Трапециевидный фонарь на Т-образных колоннах



Фиг. 2. Трапециевидный фонарь на консольных балках

рит здания не бывает полностью перекрыт деревянной рамной конструкцией.

Деревянные рамы получили распространение главным образом в фонарях, где по сравнению с фермами они дают ряд преимуществ как в архитектурном, так и статическом отношении. При рациональном выборе схемы деревянные рамы не только дают хорошие экономические показатели самой рамной конструкции, но зачастую позволяют облегчить и несущие ее Т-образные колонны.

Характерные случаи применения деревянных рам представлены на фиг. 1, 2 и 3.

### 2) Конструкция

Фонарь имеет обычно трапециевидный (фиг. 1 и 2) или М-образный профиль (фиг. 3) в зависимости от типа водоотвода и архитектурно-эксплуатационных требований.

Отвод воды наружу применяется преимущественно в фонарях малого пролета с шириной кровли не более 5—6 м. В таких фонарях уклон рубероидной кровли назначается минимальным в пределах

$$\left( \frac{1}{10} - \frac{1}{15} \right).$$

В фонарях большого пролета некоторые эксплуатационные преимущества дает внутренний водоотвод, при котором уклон кровли назначается от  $\frac{1}{15}$  до  $\frac{1}{2}$  (фиг. 3) в зависимости от эксплуатационных и отчасти конструктивных соображений.

Плоскости световых отверстий фонаря, как правило, бывают наклонены к горизонту под углом  $60^\circ$  и лишь в исключительных случаях — под углом  $90^\circ$ .

При нормальном шаге колонн (5—7 м) рамы фонаря обычно располагаются только на консолях колонн, в промежутках же между ними ставятся наклонные импосты, опирающиеся на боковые элементы покрытия (фиг. 4); вес кровли фонаря полностью передается на рамы, импосты же поддерживают только перилеты.

Такая конструкция: 1) выгодна экономически благодаря концентрированной передаче нагрузок, 2) дает минимальное затемнение световых отверстий.

При обычном способе опирания импоста на кровлю фонаря (фиг. 4) жесткая рама воспринимает только опорную реакцию  $R$  импоста, действующую в плоскости кровли.

Ноги рам раскрепляются горизонтальными импостами остекления, ригель — кровлей фонаря. Для обеспечения общей продольной устойчи-

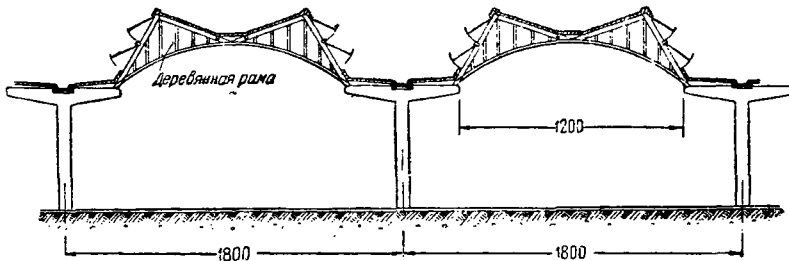
<sup>1</sup> По материалам, разработанным автором в ОТИС Проектинститута.

ности сооружения горизонтальные импосты крепятся к железобетонным зонам или брендмауерам. Продольная устойчивость может быть также достигнута оставлением в остеклении глухих панелей или установкой крестовых тяг из круглого железа.

3) Нагрузки

Действующие на раму внешние силы состоят из снеговой, ветровой и в некоторых случаях производственной нагрузок.

Снеговая нагрузка на трапецевидном профиле (ОСТ 7626/б) может распределяться по пролету равномерно с интенсивностью  $p$  или неравномерно (фиг. 5а).

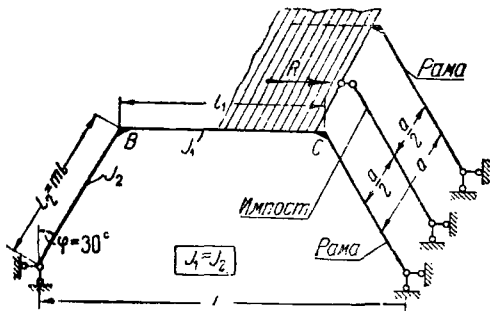


Фиг. 3. М-образный фонарь

В последнем случае интенсивность нагрузки (на единицу горизонтальной проекции) принимается:

- на подветренной ноге . . .  $p$ ;
- » кровле фонаря . . . . .  $0,5p$ ;
- » наветренной ноге . . . .  $p \cdot \frac{1}{1-(1-m)\alpha}$ ,

где  $m = \frac{l_2}{l}$  и  $\alpha = \frac{l}{L}$ . Обозначения указаны на фиг. 5а.



Фиг. 4. Двухшарнирная рама простейшего вида

При расчете деревянных рам снеговая нагрузка  $p$  должна приниматься без учета подтаивания независимо от термического сопротивления кровли.

При полуконной кровле по условиям ввода сооружения в эксплуатацию подтаивания может не происходить в течение продолжительного времени. Возможное при учете подтаивания длительное перенапряжение соединений и древесины в начальный период работы конструкции может привести к недопустимым осадкам и расстройству соединений.

Ветровая нагрузка, действующая на трапецевидный фонарь, зависит от основных

пропорций профилей здания и принимается в соответствии с ОСТ 7626/а. В приведенных ниже примерах проектирования независимо от числа и расположения фонарей (условно) величина ветровой нагрузки в запас прочности конструкции принята:

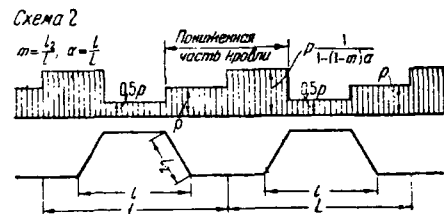
- на подветренной стороне  $w_2 = 0,8w_0$ ;
- » наветренной стороне (отсос)  $w_3 = 0,6w_0$ ;
- » кровле  $w_1 = 1,0w_0$ ,

где  $w_0$  — наибольший для данной местности скоростной напор, определяемый по ОСТ 7626/а.

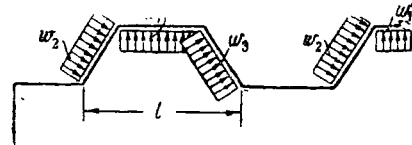
Отсос на кровле  $w_2$  обычно учитывается только при проверке сооружения на опрокидывание (отрыв от опор).

При невыгоднейшей схеме снеговой загрузке давление ветра принимается полным расчетным.

Производственными нагрузками являются транспортные приспособления монорельсового типа. В обычных случаях подъем



Фиг. 5а. Схема снеговой нагрузки



Фиг. 5б. Схема ветровой нагрузки

ная сила этих приспособлений не превышает 1—1,5 т и легко воспринимается конструкцией рам.

4) Выбор схемы

При выборе конструкции фонаря необходимо учитывать не только экономические требования (минимум стоимости самой конструкции), но и эксплуатационные и эстетические требования, предъявляемые к сооружению в целом.



Для этого должны быть сопоставлены следующие свойства конкурирующих схем конструкции:

а) технико-экономическая рациональность конструкции при данных пролете фонаря и нагрузках и удобство ее монтажа;

б) возможность подвешивания монорельсовых путей;

в) влияние опорных реакций рамы на работу железобетонных колонн; так, при относительно малой высоте здания применение распорных систем благоприятно влияет на сечение Т-образных колонн, при большой же высоте заметно утяжеляет их;

г) влияние конструкции на освещение рабочих мест в соответствии с требованиями производства.

При выборе схемы конструкции фонаря необходимо учесть:

1) что при наличии в здании балочных кранов желательно увеличить жесткость здания применением рам с затяжками;

2) что архитектурно-эстетические требования зачастую могут иметь решающее значение даже в некоторый ущерб экономичности.

## 2. Двухшарнирные рамы малых пролетов

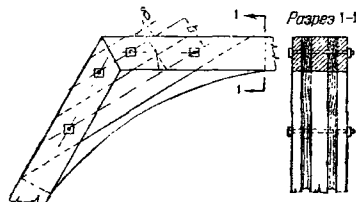
### 1) Конструкция

Малые пролеты (до 7—8 м) перекрываются двухшарнирными рамами простейших сечений (фиг. 4). Элементы рамы выполняются из досок и жестко сопрягаются в точках В и С посредством деревянных прокладок на нагельных, гвоздевых или болтовых соединениях.

Схема узла на деревянных прокладках представлена на фиг. 6.

В узле следует предпочитать гвоздевые соединения, болты же устанавливать в минимальном количестве лишь для сплачивания элементов.

Из эстетических соображений может быть установлена дополнительная прокладка с выкружкой, не учитываемая расчетом.

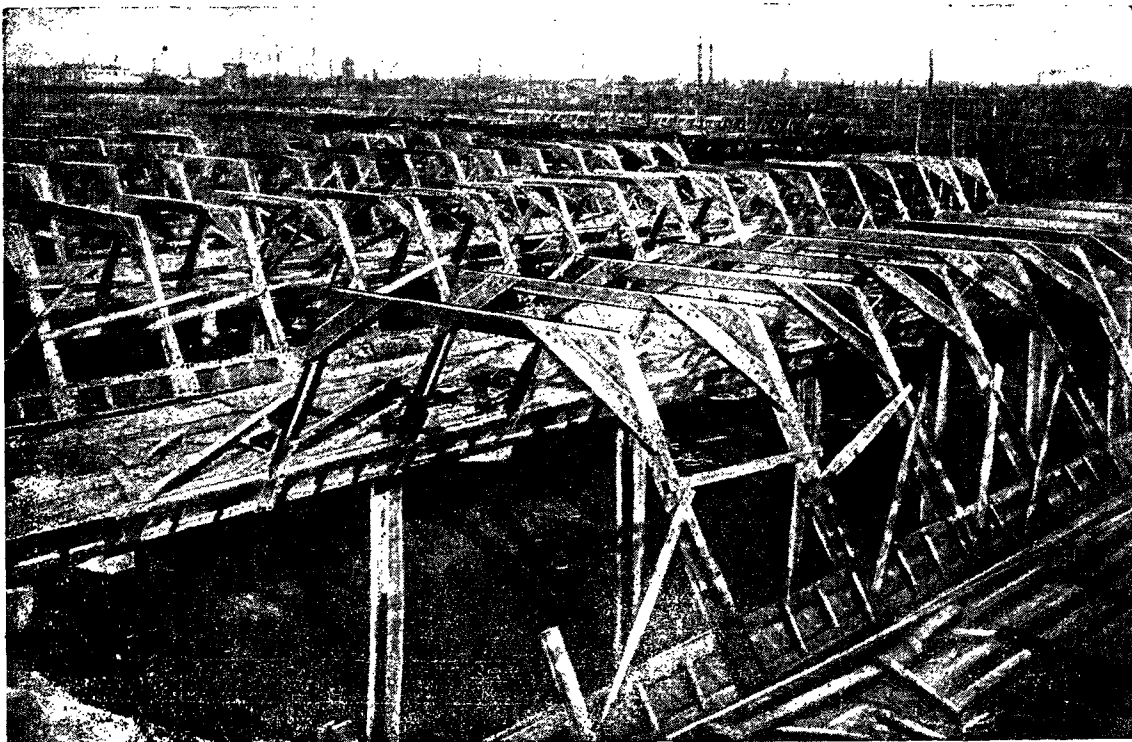


Фиг. 6. Жесткий узел на деревянных прокладках

Жесткий узел может быть выполнен также на фанерных прокладках. При этом по условиям работы фанеры элементы рамы требуют большей подробности сечения, чем в конструкции по фиг. 6.

На фиг. 7 представлен общий вид двухшарнирных рам на заводе «Шарикодшипник».

Элементы этих рам выполнены из брусьев, узлы сконструированы на деревянных накладках. Такая конструкция не может быть рекомендована как из архитектурных соображений, так и из конструктивных (невыгодные условия работы нагельных соединений вследствие малого количества срезов).

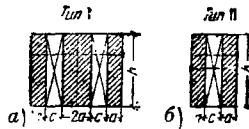


Фиг. 7. Общий вид рам на деревянных накладках

При конструкции жесткого узла на деревянных прокладках (фиг. 6) для ног рамы и ригеля следует применять сечение типа I (фиг. 8, а) или типа II (фиг. 8, б) в зависимости от мощности рамы.

При назначении размеров сечения  $a$  и  $h$  отношение  $\frac{a}{h}$  следует принимать от  $\frac{1}{4,5}$  до  $\frac{1}{6}$  из условий размещения гвоздевого заоба в жестком узле и гибкости доски как элемента ноги рамы.

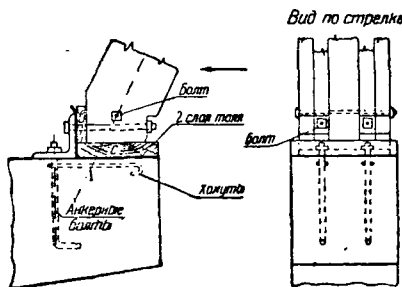
Толщина прокладок  $c$  обычно принимается равной толщине досок  $a$ .



Фиг. 8. Типы сечений

В сечении типа I средний элемент лучше делать из одной доски или бруса; при сечении из двух досок ухудшаются условия работы ноги на продольный изгиб и требуются дополнительные монтажные связи для соединения элементов рамы.

Расстояние между прокладками в ноге определяется расчетом ее на продольный изгиб; в ригеле рамы при раскреплении его кровлей по всей длине достаточно конструктивных прокладок через 1,0—1,5 м. Из противопожарных соображений, а также во избежание скопления пыли образующиеся в элементах конструкции зазоры могут быть закрыты рейками.



Фиг. 9. Опора с металлическим угольником

Конструкция опор двухшарнирной рамы должна допускать легкое исправление неточностей в размерах, могущих иметь место при изготовлении и монтаже рам и нижележащих конструкций.

Помимо восприятия распора конструкция опоры должна устранять возможность сдвига рамы в направлении, перпендикулярном к ее плоскости.

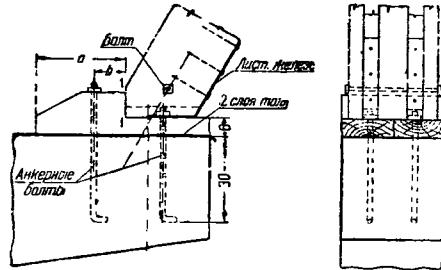
Возможные варианты опор представлены на фиг. 9 и 10.

В варианте, представленном на фиг. 9, опорные антисептированные доски  $a$  и  $c$  укладываются по толщине. Толщина опорной доски  $b$  или срезка ноги по линии  $I-I$  назначается при монтаже рамы.

В варианте, представленном на фиг. 10, длина хвоста  $a$  опорной подушки назначается с запасом и подрезается при необходимости при монтаже рамы.

Смещение рамы в поперечном направлении на опоре по фиг. 9 устраняется специальными бол-

тами, в опоре же по фиг. 10 — накладками из листового железа, служащими одновременно шайбами анкерных болтов. Эти крепления одновременно предохраняют рамы от опрокидывания их ветровым отсосом.



Фиг. 10. Опора с деревянной подушкой

## 2) Метод расчета и его особенности

Основной статической схемой является двухшарнирная рама  $ABCD$  (фиг. 11), жесткость узлов которой достигается деревянными прокладками на гвоздевых соединениях.

Ввиду того что гвоздевые соединения (вследствие их податливости) не могут обеспечить абсолютной жесткости узлов  $B$  и  $C$ , возможно появление дополнительных углов поворота изогнутой оси элементов — это приводит к увеличению расчетных положительных моментов в ноге и ригеле.

Для ноги расчетным всегда является угловой момент  $M_C$ ; поэтому ногу в занас прочности можно рассчитывать в предположении полной жесткости узлов рамы.

Ригель рамы должен быть, напротив, проверен как балка, свободно лежащая на двух опорах.

Эта расчетная схема оправдывается следующими соображениями. Гвоздевые соединения под влиянием нагрузки получают смещения, часть которых может иметь рыхлый характер (остаточные смещения).

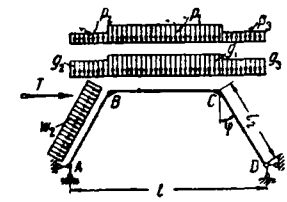
Если принять, что под влиянием повторного действия снеговых и ветровых нагрузок рыхлые смещения по осям прокладок достигнут величины  $\delta = 0,75$  мм (фиг. 6), то окажется, что угол наклона изогнутой оси ригеля у опоры:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,75 \cdot 2}{220 \cdot 0,5} = 0,0136.$$

В балке же, свободно лежащей на двух опорах и имеющей прогиб  $f = \frac{1}{300} l$ ,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{4f}{l} = 0,0133.$$

Отсюда заключаем, что при полном симметричном нагружении ригеля опорные отрицательные моменты  $M_C$  и  $M_B$  могут стать ничтожно малыми, и следовательно ригель должен быть проверен как балка, свободно лежащая на двух опорах.

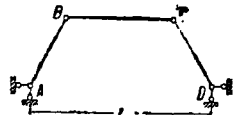


Фиг. 11. Основная статическая схема

В соответствии с изложенным статический расчет рамы рекомендуется вести в двух предположениях.

1. В предположении абсолютно жесткой двухшарнирной схемы (фиг. 11); по этой схеме вычисляются:

- расчетный узловой момент  $M_C$ ;
- соответствующая нормальная сила в ноге  $N_{CD}$ ;
- значения вертикальных и горизонтальных составляющих опорных реакций.



Фиг. 12. Условная четырехшарнирная схема

2. В предположении условной четырехшарнирной схемы (фиг. 12); по этой схеме вычисляются:

- наибольший положительный момент в ригеле  $M_I$  и б) соответствующая нормальная сила в ригеле  $N_{BC}$ .

В рассматриваемых рамах отношение длины  $l_2$  ноги к пролету  $l$  обычно не превосходит 0,55, т. е.:

$$m = \frac{l_2}{l} = 0,55.$$

Для такой рамы наибольшие значения расчетных усилий от снеговой нагрузки всегда получаются при равномерном загрузении.

При определении усилий от ветровой нагрузки можно условно перенести все давление ветра на подветренную ногу, положив  $w_2 = 1,4w_0$ .

Расчетная схема нагружений представлена на фиг. 11, где  $w_2 = 1,4w_0$  — ветровая нагрузка на 1 м длины ноги;

$g_1, g_2, g_3$  — постоянная нагрузка на 1 м горизонтальной проекции;

$p_1, p_2, p_3$  — снеговая нагрузка на 1 м горизонтальной проекции.

Горизонтальная ветровая сила  $T$  на уровне ригеля имеет место только при наличии между рамами промежуточных импостов и определяется по формуле:

$$T = n \frac{w_2 l_2}{2 \cos \varphi} = w_2 n l_2 \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где  $n$  — число промежуточных импостов между двумя рамами;

$w_2$  — ветровая нагрузка на 1 м длины импоста.

Расчетным узловым моментом является наибольший отрицательный момент с наветренной стороны (в узле  $C$ ). Положительного момента в узле обычно вовсе не возникает или же он достигает лишь весьма незначительной величины.

Расчетный изгибающий момент в ноге может быть взят у начала жесткого узла (фиг. 13). При этом можно принять

$$M_C^{(n)} = M_C \frac{l_2 - a}{l_2}; \quad (2)$$

при обычных размерах  $l_2$  и  $a$

$$M_C^{(n)} = 0,85 M_C. \quad (2')$$

Ввиду того что нормальная сила в ноге изменяется по ее длине незначительно, за расчетную ее величину  $N_{CD}$ , соответствующую расчетному моменту  $M_C^{(n)}$ , можно принять нормальную силу в точке  $C$ .

Расчетный изгибающий момент  $M_I$  в ригеле определяется в середине пролета как в простой балке, свободно лежащей на опорах.

В исключительных случаях при больших боковых нагрузках на раму необходима проверка ригеля по его опорному моменту, соответствующему жесткой двухшарнирной схеме рамы. В этом случае расчетная величина опорного момента может быть приближенно определена по формуле:

$$M_C^{(p)} = 0,7 M_C. \quad (3)$$

Ввиду того что удельный вес нормальной силы в работе ригеля незначителен, расчетная величина ее, соответствующая моменту  $M_I$ , может быть взята приближенно по формуле:

$$N_{BC} = 0,5 N_{CD}, \quad (4)$$

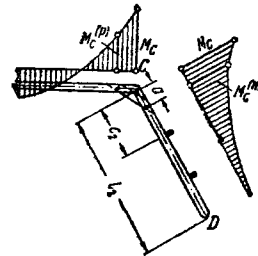
где  $N_{CD}$  — расчетная нормальная сила в точке  $C$  ноги, определенная для двухшарнирной схемы.

### 3) Определение расчетных величин в двухшарнирной раме

Статический расчет жесткой двухшарнирной рамы производится обычными методами строительной механики<sup>1</sup>.

В табл. 1<sup>2</sup> приводятся готовые формулы для определения распора  $H$  рамы от различных нагрузок. Формулы даны для произвольного угла  $\varphi$  наклона ноги и  $I_1 \neq I_2$ .

После определения распора  $H$  дальнейшая задача сводится к решению статически определимой системы, нагруженной помимо внешних нагрузок силами  $H$ .



Фиг. 13. Эшюра моментов

Ниже приводятся графики для определения углового момента, нормальной силы и опорных реакций двухшарнирной рамы при  $I_1 = I_2$  и  $\varphi = 30^\circ$ , значительно облегчающие вычисления.

а) Графики для определения узлового момента  $M_C$  (фиг. 14)

Для определения изгибающих моментов вертикальные нагрузки на ногах рамы могут быть разложены на составляющие нормальные и параллельные ноге, выраженные в кг на 1 пог. м длины ноги.

Ввиду того что составляющие, параллельные ноге, не вызывают в конструкции изгибающих моментов, нагрузки, представленные на фиг. 11, можно привести в общем случае к четырем типам (фиг. 14):

$$\begin{aligned} q_1 &= g_1 + p_1; \\ q_2 &= (g_2 + p_2) \sin \varphi + w_2; \\ q_3 &= (g_3 + p_3) \sin \varphi; \\ T &= n \cdot w_2 l_2 \operatorname{tg} \varphi, \end{aligned}$$

где  $n$  — число промежуточных импостов между двумя рамами. Для частного случая ( $\varphi = 30^\circ$  и  $I_1 = I_2$ ) формулы для  $M_C$  приведены в табл. 2.

<sup>1</sup> См. т. II, стр. 484 «Точные методы расчета рам».

<sup>2</sup> Составлена по данным Клейнлогеля.

Таблица 1

Формулы для определения распора

|  |  |
|--|--|
|  | $\frac{l_1 \cdot l_2}{l_2 \cdot l_1} = k$  |
|  | $H_A = H_D = q \frac{l_1^3}{4h} \left( 2 \frac{a}{l_1} + \frac{l}{2k+3} \right)$ |
|  | $H_D = q \frac{l_2^2}{8h} \cdot \frac{5k+6}{2k+3}$ $H_A = H_D - q \cdot h$       |
|  | $H_A = H_D = q \frac{a^2}{8h} \cdot \frac{5k+6}{2k+3}$                           |
|  | $H_D = -H_A = \frac{Q}{2}$   |

Таблица 2

Формулы для определения изгибающего момента в узле С

| Вид нагрузки | Формула для $M_C$   | Вид нагрузки | Формула для $M_C$   |
|--------------|---|--------------|---|
| $q_1$        | $-\frac{q_1 l_1^3}{12l_1 + 8l_2}$   | $q$          | $-\frac{q_2 l_2^2}{4} \left( \frac{l_2}{6l_1 + 4l_2} - \frac{l_1}{l} \right)$ |
| $q_2$        | $-\frac{q_2 l_2^2}{4} \left( \frac{l_2}{6l_1 + 4l_2} + \frac{l_1}{l} \right)$ | $T$          | $-\frac{T \cdot l_1 h}{2l}$   |

При  $l_2 = lm$  получим  $l_1 = l - l_2 \sin \varphi = l - 0,5 lm$ , и общее выражение для  $M_C$  при суммарном действии нагрузок представится в виде:

$$M_C = (-\alpha_1 q_1 - \alpha_2 q_2 - \alpha_3 q_3) l^2 - \alpha_4 T l. \quad (5)$$

Выражения для коэффициентов  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  и их числовые значения для различных величин  $m = \frac{l_2}{l}$  приведены на графиках (фиг. 14).

При пользования графиками  $\alpha$  нужно иметь в виду, что числовые значения коэффициентов  $\alpha$  увеличены в 100 раз, т. е. при исчислении погонной нагрузки в килограммах и пролета в метрах изгибающие моменты получаются в килограммо-сантиметрах.

б) Графики для определения нормальной силы  $N_{CD}$  в точке С ноги (фиг. 15)

Действующие на раму нагрузки могут быть по предыдущему приведены к четырем:  $q_1, q_2, q_3$  и  $T$ .

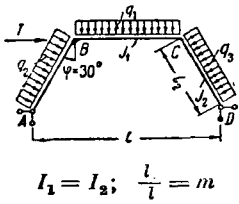
Общую формулу для определения нормальной силы в точке С ноги получим аналогично предыдущему:

$$N_{CD} = (\beta_1 q_1 - \beta_2 q_2 + \beta_3 q_3) l - \beta_4 T. \quad (6)$$

где коэффициенты  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  имеют выражения и числовые величины, данные на графиках.

Составляющие нагрузок  $q_3$  и  $p_3$ , действующие вдоль ноги (фиг. 11), не влияют на величину

Графики для определения моментов в узлах двухшарнирной рамы

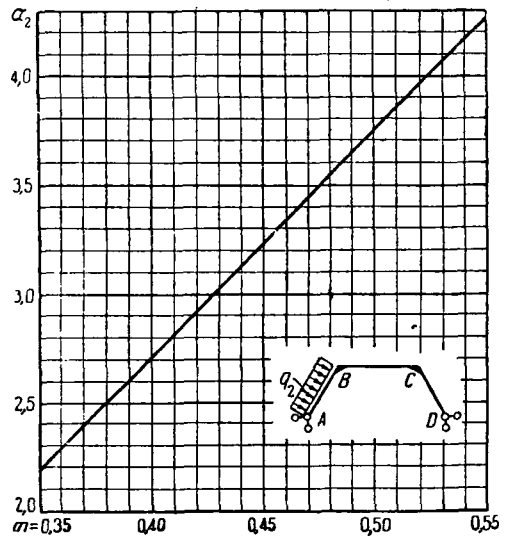
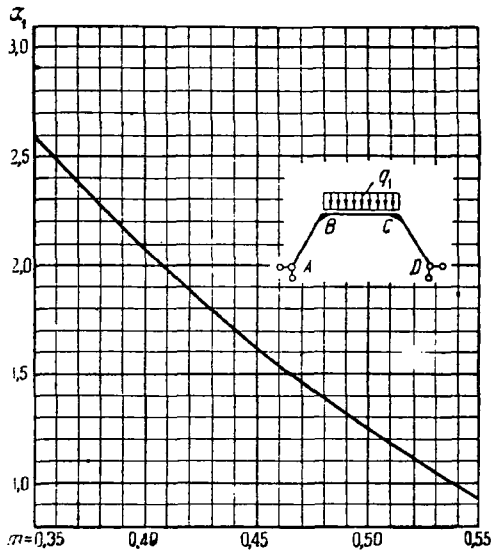


$$M_C = (-\alpha_1 P_1 - \alpha_2 P_2 + \alpha_3 P_3) l^2 - \alpha_4 T l;$$

$M_C$  — момент в узле  $C$  в кгсм;  
 $P$  — равномерная нагрузка в кг на 1 м элемента, действующая перпендикулярно к его оси;  
 $T$  — горизонтальная сила на уровне ригеля в кг;  
 $l$  — расчетный пролет рамы в м.

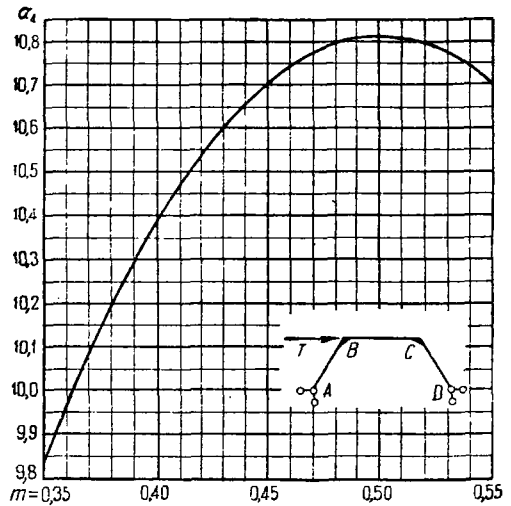
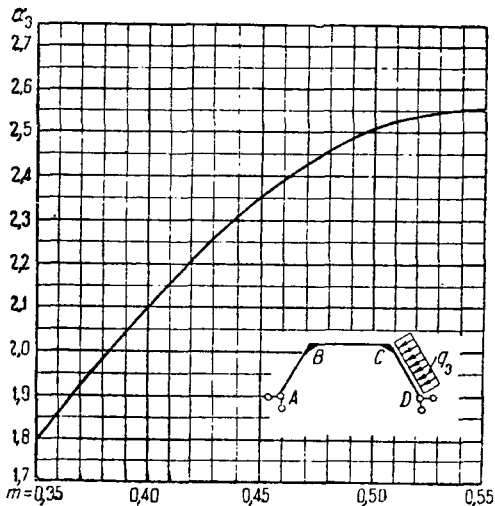
$$\alpha_1 = 25 \cdot \frac{(1-m)^3}{3-m}$$

$$\alpha_2 = 25m^2 \left[ \frac{m}{2(3-m)} + (1-m) \right]$$



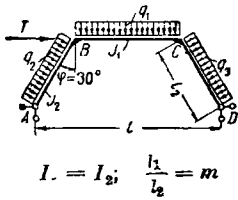
$$\alpha_3 = 25m^2 \left[ (1-m) - \frac{m}{2(3-m)} \right]$$

$$\alpha_4 = 43,3 (1-m) m$$



Фиг. 14

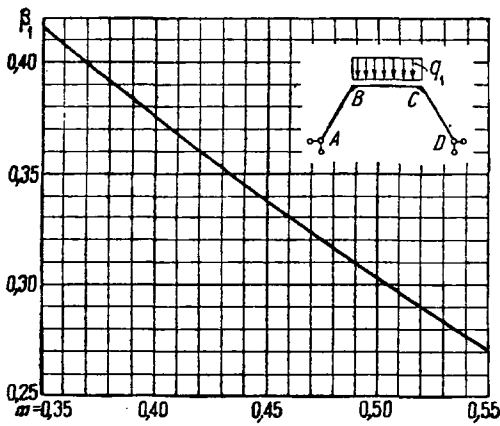
Графики для определения нормальной силы в ногах двухшарнирной рамы



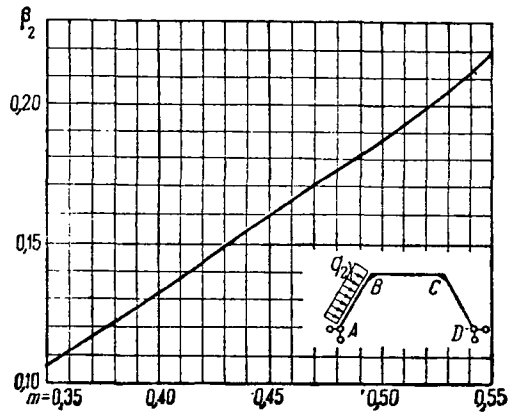
$$N_{CD} = (-\beta_1 q_1 - \beta_2 q_2 + \beta_3 q_3) l - \beta_4 T;$$

$N_{CD}$  — нормальная сила в ноге  $CD$  в кг;  
 $q$  — равномерная нагрузка в кг на 1 м элемента, действующая перпендикулярно к его оси;  
 $T$  — горизонтальная сила на уровне ригеля в кг;  
 $l$  — расчетный пролет рамы в м.

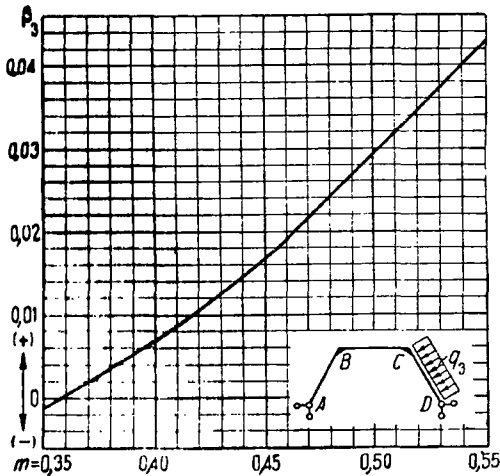
$$\beta_1 = 0,577 \left[ (1 - m) + \frac{(1 - m)^2}{4(3 - m)m} \right]$$



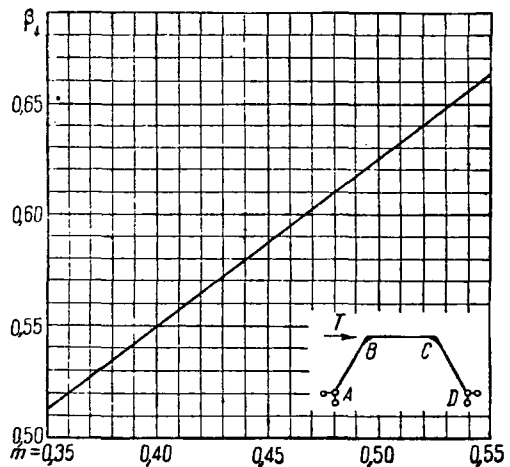
$$\beta_2 = 0,1445m \left[ (1 + 3m) + m \frac{1}{3(3 - m)} \right]$$



$$\beta_3 = 0,1445m \left[ (1 - 3m) + m \frac{1}{2(3 - m)} \right]$$

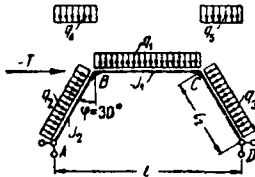


$$\beta_4 = 0,25(3m + 1)$$



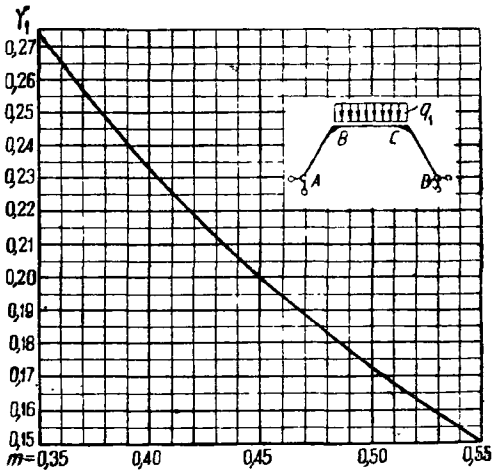
Фиг. 15

Графики для определения горизонтальной составляющей опорной реакции двухшарнирной рамы

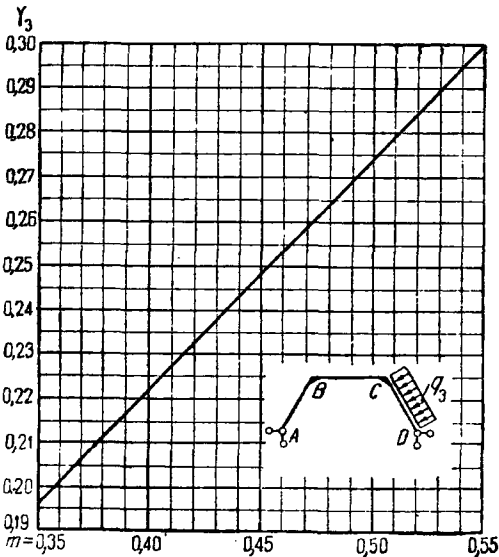


$$l_1 = l_2; \quad \frac{l_2}{l} = m$$

$$\gamma_1 = 1,155 \left[ \frac{1-m}{4} + \frac{(1-m)^2}{4(3-m)m} \right]$$



$$\gamma_3 = 0,1445m \frac{3-5m}{3-m}$$



$$H_D = \left[ \gamma_1 q_1 + \gamma_2 q_2 - \gamma_3 q_3 + \gamma_2 \frac{q_4 + q_5}{4} \right] l + \frac{T}{2}$$

$H_D$  — горизонтальная составляющая опорной реакции в точке  $D$  в кг;

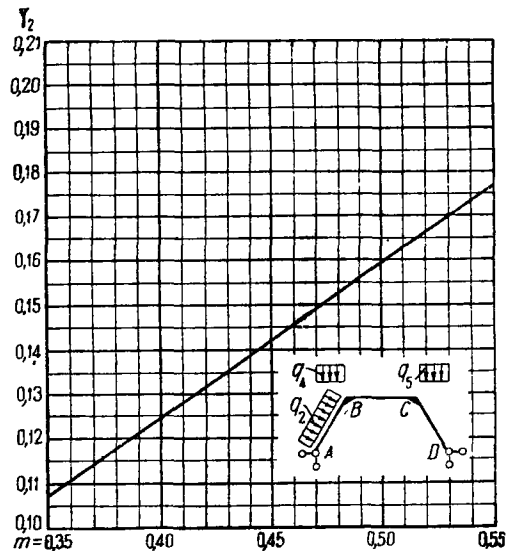
$q_1, q_2, q_3$  — равномерные нагрузки в кг на 1 м элемента, действующие перпендикулярно к его оси;

$q_4, q_5$  — равномерные вертикальные нагрузки в кг на 1 м горизонтальной проекции ноги;

$T$  — горизонтальная сила на уровне ригеля в кг;

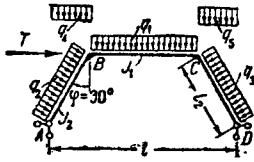
$l$  — расчетный пролет рамы в м.

$$\gamma_2 = 0,1445 \frac{6-m}{3-m} \cdot m$$



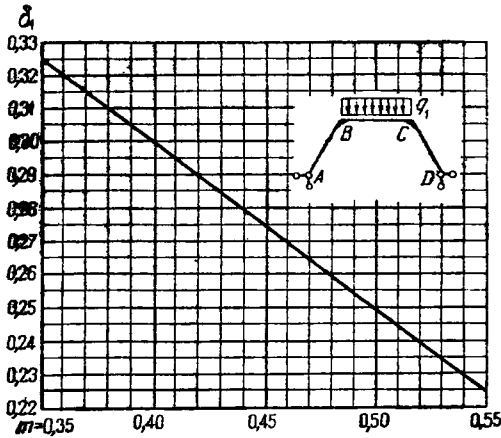
Фиг. 16

Графики для определения вертикальной составляющей опорной реакции двухшарнирной рамы

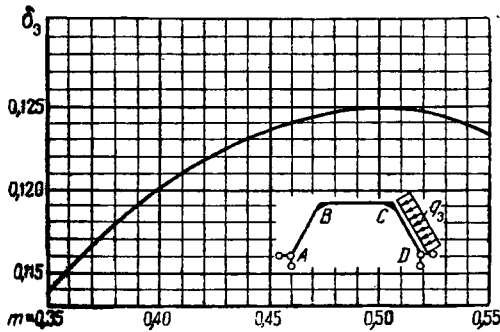


$$I_1 = I_2; \quad \frac{l_2}{l} = m$$

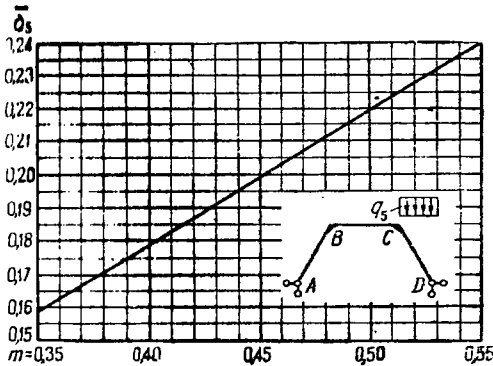
$$\delta_1 = 0,5(1 - m)$$



$$\delta = 0,5m(1 - m)$$



$$\delta_5 = \delta_3 + 0,75\delta_2$$



$$V_D = [\delta_1 \cdot q_1 + \delta_2 \left( q_2 + \frac{q_4}{4} \right) + \delta_3 \cdot q_3 + \delta_5 \cdot q_5] l + \delta_4 \cdot T$$

$V_D$  — вертикальная составляющая опорной реакции в точке  $D$  в кг;

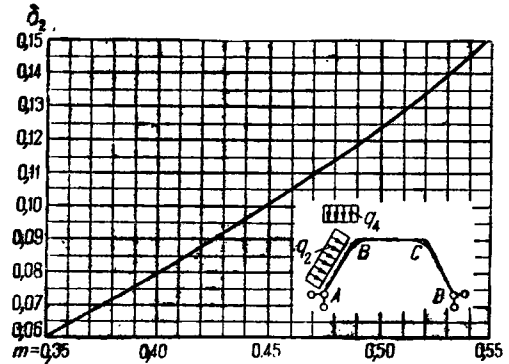
$q_1, q_2, q_3$  — равномерные нагрузки в кг на 1 м элемента, действующие перпендикулярно к его оси;

$q_4, q_5$  — равномерные вертикальные нагрузки в кг на 1 м горизонтальной проекции ноги;

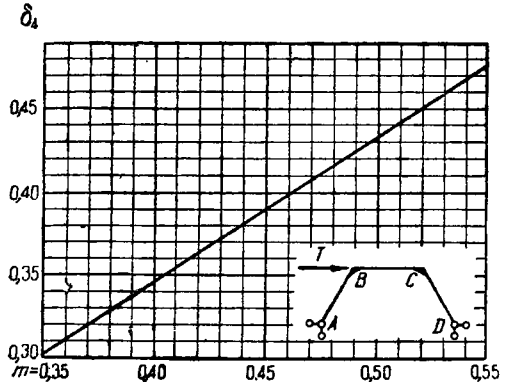
$T$  — горизонтальная сила на уровне ригеля в кг;

$l$  — расчетный пролет в м.

$$\delta_2 = 0,5m^2$$



$$\delta_4 = 0,866m$$



Фиг. 17



нормальной силы в верхнем сечении ноги. При определении же нормальной силы по длине ноги в ф-лу (6) необходимо внести поправку:

$$-(g_3 + p_3) \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot x,$$

где  $x$  — расстояние рассматриваемого сечения от точки  $C$ .

в) Графики для определения опорных реакций (фиг. 16 и 17)

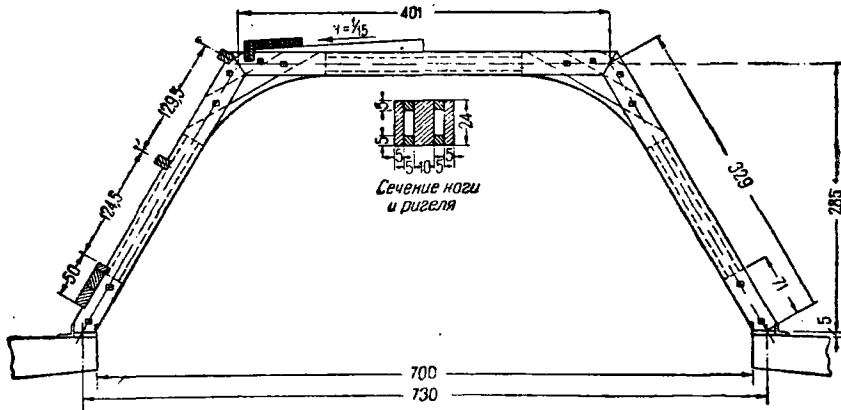
Графики для определения  $H_D$  и  $V_D$  составлены для двух нагрузок на ногах: 1) вертикальной и 2) нормальной к ноге.

В тех случаях, когда величины  $H_D$  или  $V_D$  от обоих видов нагрузок на ноге имеют простейшую зависимость, дается один график для обоих случаев, зависимость же между ними указывается в общей формуле [см. ф-лы (7) и (8)].

В соответствии с принятыми типами нагрузок общие формулы получены в следующем виде:

$$H_D = \left[ \gamma_1 q_1 + \gamma_2 q_2 - \gamma_3 q_3 + \gamma_4 \frac{q_4 + q_5}{4} \right] l + \frac{T}{2}; \quad (7)$$

$$V_D = \left[ \delta_1 q_1 + \delta_2 (g_2 + \frac{q_4}{4}) + \delta_3 q_3 + \delta_5 q_5 \right] l + \delta_4 T. \quad (8)$$



Фиг. 18. Двухшарнирная рама пролетом  $l = 7,30$  м. Общий вид

4) Проект двухшарнирной рамы (фиг. 18, 19, 20)

Во всех приведенных ниже примерах расчета приняты следующие данные: древесина — сосна марки I с влажностью не более 23%.

Допускаемые напряжения

$$[n_{\perp}] = [n_{\parallel}] = 100 \cdot 0,9 = 90 \text{ кг/см}^2;$$

$$[n_{\perp}] = 110 \cdot 0,9 = 99 \text{ кг/см}^2.$$

а) Схема конструкции (фиг. 4)

Расчетный пролет  $l = 7,30$  м;  $l_2 = 3,29$  м;

$$l_1 = 4,01 \text{ м.}$$

$$\varphi = 30^\circ; \sin \varphi = 0,500; \cos \varphi = 0,866;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,577.$$

Расстояние между рамами  $a = 6,00$  м.

б) Расчетная схема нагрузок (фиг. 11)

Постоянные нагрузки на единицу длины горизонтальной проекции:

$$g_1 = 420 \text{ кг/м};$$

$$g_2 = g_3 = 220 \text{ кг/м.}$$

Снеговая нагрузка (равномерное загрузение) в тех же мерах:

$$p_1 = 80 \cdot 6 = 480 \text{ кг/м};$$

$$p_2 = p_3 = 80 \cdot 3 = 240 \text{ кг/м.}$$

Ветровая нагрузка на 1 пог. м ноги:

$$w_2 = 30 \cdot 1,4 \cdot 3 = 126 \text{ кг/м.}$$

Горизонтальная сила  $T$  на уровне ригеля:

$$T = \frac{w_2 l_2}{2 \cos \varphi} = \frac{126 \cdot 3,29}{2 \cdot 0,866} = 239 \text{ кг.}$$

в) Расчетные изгибающие моменты

Расчетные нагрузки приводим в схеме, указанной на фиг. 14. Для этого разлагаем вертикальную нагрузку на ногах на составляющие: 1) нормальную к ноге и 2) параллельную ноге. Выражая нагрузки в кг/м длины элементов, получаем (фиг. 14):

$$q_1 = g_1 + p_1 = 480 + 420 = 900 \text{ кг/м};$$

$$q_2 = (g_2 + p_3) \sin^2 \varphi + w_2 = (240 + 220) \times 0,25 + 126 = 241 \text{ кг/м};$$

$$q_3 = (g_3 + p_3) \sin^2 \varphi = (240 + 220) \cdot 0,25 = 115 \text{ кг/м};$$

$$T = 239 \text{ кг.}$$

Пользуясь графиком (фиг. 14) при

$$m = \frac{l_2}{l} = \frac{3,29}{7,30} = 0,45,$$

находим расчетный момент в узле  $C$ :

$$\begin{aligned} M_C &= (-\alpha_1 q_1 - \alpha_2 q_2 - \alpha_3 q_3) l^2 - \alpha_4 T l = \\ &= (-1,63 \cdot 900 - 3,23 \cdot 241 + 2,35 \cdot 115) \times \\ &\quad \times 7,30^2 - 10,7 \cdot 239 \cdot 7,3 = 123 \, 900 \text{ кг/см.} \end{aligned}$$

Наибольший расчетный момент в ригеле как в простой балке:

$$M_I = \frac{q_1 l_1^2}{8} = \frac{900 \cdot 4,01^2}{8} \cdot 100 = 180 \, 500 \text{ кгсм.}$$

г) Расчетные нормальные силы

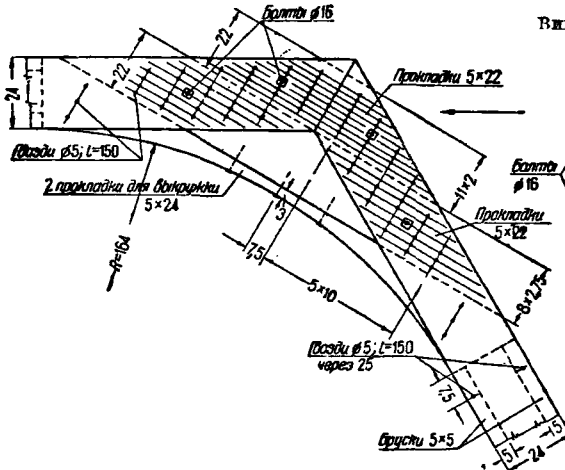
Наибольшую нормальную силу в ноге  $CD$  у узла  $C$ , соответствующую расчетному моменту  $M_C$ , определим, пользуясь графиками фиг. 15.

При  $m = 0,45$  получим:

$$N_{CD} = (-\beta_1 q_1 - \beta_2 q_2 + \beta_3 q_3) l - \beta_4 T =$$

$$= (-0,339 \cdot 900 - 0,158 \cdot 241 + 0,0165 \cdot 115) \cdot 7,30 -$$

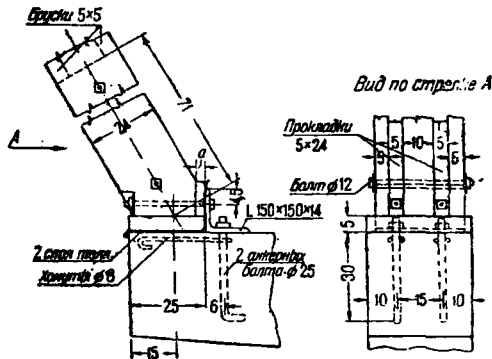
$$- 0,587 \cdot 239 = -2640 \text{ кг.}$$



Фиг. 19. Деталь жесткого узла

Наибольшую нормальную силу в ригеле принимаем приближенно:

$$N_{BC} = 0,5 N_{CD} = -0,5 \cdot 2640 = -1320 \text{ кг.}$$



Фиг. 20. Детали опоры

**д) Расчетные опорные реакции**

Обозначая нагрузку на заветренной ноге  $q_3 + P_2 = q_4$ , наибольшую величину горизонтальной составляющей опорной реакции определим по формуле:

$$H_D = [\gamma_1 q_1 + \gamma_2 (q_2 + \frac{q_5}{4})] l + \frac{T}{2}$$

Подставляя в формулу значение коэффициентов  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  при  $m = 0,45$ , получим по графику фиг. 16:

$$H_D = [0,2 \cdot 900 + 0,143 (241 + \frac{460}{4})] \cdot 7,30 +$$

$$+ \frac{239}{2} = 1810 \text{ кг;}$$

$$V_D = (\delta_1 q_1 + \delta_2 q_2 + \delta_3 q_3) l + \delta_4 T =$$

$$= (0,275 \cdot 900 + 0,10 \cdot 241 + 460 \cdot 0,20) \cdot 7,3 +$$

$$+ 0,39 \cdot 239 = 2745 \text{ кг.}$$

**е) Расчет сечений**

1. Сечение ригеля принято по фиг. 8, а:  $h=24 \text{ см;}$   
 $a = 5 \text{ см; } c = 5 \text{ см; } F_{\text{брутто}}=480 \text{ см}^2; W_{\text{брутто}} =$   
 $= 1920 \text{ см}^3.$  Проверяем напряжения:

$$\frac{l_1}{h} = \frac{401}{24} = 16,7; \quad \varphi_x = 0,59;$$

Вид по стрелке

$$n_- = \frac{N}{\varphi \cdot F_{\text{брутто}}} + \frac{M}{W} \cdot \frac{[n_-]}{[n_-]} =$$

$$= \frac{1320}{0,59 \cdot 480} +$$

$$+ \frac{180500}{1920} \cdot \frac{100}{110} = 90,1 \text{ кг/см}^2.$$

2. Сечение ноги из условий конструирования жесткого узла сохраняется то же, что и ригеля. Расчетный момент в ноге у начала жесткого узла (фиг. 13):

$$M = \frac{M_C}{l_2} (l_2 - a) =$$

$$= \frac{123900}{3,29} \cdot (3,29 - 0,5) =$$

$$= 105000 \text{ кгсм;}$$

$$N_{CD} = 2640 \text{ кг; } l_x = l_2 = 329 \text{ см;}$$

$$l'_y = b = 120 \text{ см;}$$

$$\frac{l_x}{h} = \frac{329}{24} = 13,7; \quad \varphi_x = 0,67;$$

$$\frac{l'_y}{a} = \frac{120}{5} = 24; \quad \varphi'_y = 0,42;$$

$$n_- = \frac{N_{CD}}{F_{\text{брутто}} \cdot \varphi_x \cdot \varphi'_y} + \frac{M}{W} \cdot \frac{[n_-]}{[n_-]} =$$

$$= \frac{2640}{480 \cdot 0,67 \cdot 0,42} + \frac{105000}{1920} \cdot \frac{100}{110} = 69,2 \text{ кг/см}^2.$$

**ж) Жесткий узел (фиг. 19)**

Жесткость узла достигается двумя рядами парных прокладок, соединяемых с элементами рамы гвоздями  $\varnothing 5$ ,  $l = 150 \text{ мм}$ . Ширина прокладок  $b = 22 \text{ см}$ .

Расчетный момент в узле  $M_C = -123900 \text{ кгсм}$ . Усилие в прокладке можно приближенно принять:

$$N = \frac{M_C}{b} = \frac{123900}{22} = 5620 \text{ кг.}$$

Усилие, воспринимаемое одним срезом болта  $\varnothing 16$  (по смятию прокладки):

$$T_b = 0,5 \cdot 5 \cdot 1,6 \cdot 72 = 283 \text{ кг.}$$

Усилие, воспринимаемое одним срезом гвоздя  $\varnothing 5$ ,  $l = 150 \text{ мм}$  (по изгибу):

$$T_g = 0,8 \cdot 0,5^2 \sqrt{1800 \cdot 72} = 72 \text{ кг.}$$

Необходимое количество гвоздей на полупрокладку с каждой стороны:

$$m = \frac{N - n \cdot 2 \cdot T_g}{n \cdot 2 \cdot T_b} = \frac{5620 - 1150}{4 \cdot 72} = 16 \text{ шт.}$$

**3) Опора (фиг. 20)**

$$H_D = 1810 \text{ кг; } V_D = 2745 \text{ кг.}$$

Анкерные болты (2  $\varnothing 25$ ) закреплены в бетоне хомутами  $\varnothing 8$ , уложенными поверх основных хомутов железобетонного элемента.

Учитывая трение, получим горизонтальную силу, передаваемую на анкерные болты:

$$H = 1810 - 2745 \cdot 0,3 = 988 \text{ кг}$$

и изгибающий момент, действующий в болтах:

$$M = 988 \cdot 2,0 = 1980 \text{ кгсм.}$$

Растягивающая сила в анкерных болтах, возникающая при опрокидывании уголка:

$$N \approx \frac{988 \cdot 10,0}{9,0 \cdot \frac{2}{3}} = 1650 \text{ кг.}$$

Напряжение в анкерном болте:

$$n_+ = \frac{M}{W} + \frac{N}{F_{\text{норм}}} = \frac{1980}{1,53 \cdot 2} + \frac{1650}{3,57 \cdot 2} = 878 \text{ кг/см}^2.$$

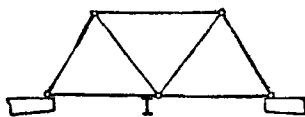
Напряжение в полке уголка по линии болтов:

$$n_- = \frac{M}{W_{\text{бруста}}} + \frac{N}{F_{\text{бруста}}} = \frac{988}{8,15} + \frac{988}{25 \cdot 1,4} = 1240 < 1400 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение смятия в опорных досках заведомо менее допустимого.

### 5) Подвешивание монорельсовых путей

При наличии под фонарями монорельсовых путей нет надобности в замене рамы стержневой



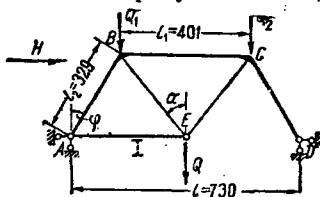
Фиг. 21. Подвешивание монорельса к ферме

бесраспорной системой (фиг. 21) или в устройстве специальных дополнительных балок (фиг. 22).



Фиг. 22. Подвешивание монорельса к дополнительной балке

Нагрузка от монорельса может быть передана непосредственно на раму с помощью балки



Фиг. 23. Подвешивание монорельса к раме

AE, подвешенной к раме в точке E на тросах BE и CE (фиг. 23). Указанная конструкция обладает рядом преимуществ:

1. Сохраняется стандартность основной конструкции (рамы), так как нагрузка от монорельса вызывает в элементах рамы лишь незначительные нормальные усилия.

2. При проектировании здания легко предусмотреть возможность передвижки или удлинения монорельсовых путей путем последующей установки балок AE и тяжей.

3. В том случае, когда монорельсовый путь расположен не по всей длине здания, сохраняется единое архитектурное оформление фонаря при минимальной затемненности его конструктивными элементами.

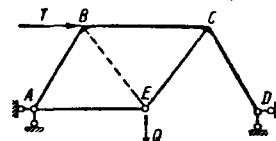
4. Конструкция дает значительную экономию в сравнении с типом, представленным на фиг. 22. Благодаря наличию в конструкции распора применение ее в покрытиях на Т-образных колоннах по сравнению со схемой фиг. 21 дает некоторую экономию материала в железобетонных элементах (при небольшой высоте цеха).

Рассматриваемая схема подвешивания устройства (фиг. 23) выгодна тем, что при загрузке силой Q она противодействует горизонтальным смещениям рамы, возникающим от несимметричных нагрузок



Фиг. 24. Схема монорельсовой бадки

Если величина несимметричных нагрузок (снег, ветер) невелика, тяжи BE и CE подвешивного устройства растянуты, и систему можно рассматривать как ферму (фиг. 23) с шарнирами в узлах



Фиг. 25. Расчетная схема на боковую нагрузку

B и C. Заменяя несимметричную часть нагрузок эквивалентной им силой  $H = T$ , усилия в элементах подвешивного устройства от сил T и Q, получим из формул:

$$N_{CE} = \frac{Q}{2 \cos \alpha} + \frac{T}{2} \cdot \frac{\sin(90 - \varphi)}{\sin(\alpha + \varphi)}; \quad (9)$$

$$N_{BE} = \frac{Q}{2 \cos \alpha} - \frac{T}{2} \cdot \frac{\sin(90 - \varphi)}{\sin(\alpha + \varphi)}; \quad (9')$$

$$N_{AE} = T \cdot \frac{\sin(90 - \varphi)}{\sin(\alpha + \varphi)} \cdot \sin \alpha. \quad (10)$$

При большой относительной величине силы T тяж BE вследствие сжимающих усилий [Ф-ла (9')] выключается из работы, и статическую схему нужно принять по фиг. 25.

**Пример 1.** Требуется рассчитать конструкцию для подвешивания монорельса к раме (фиг. 26, 27, 28, 29).

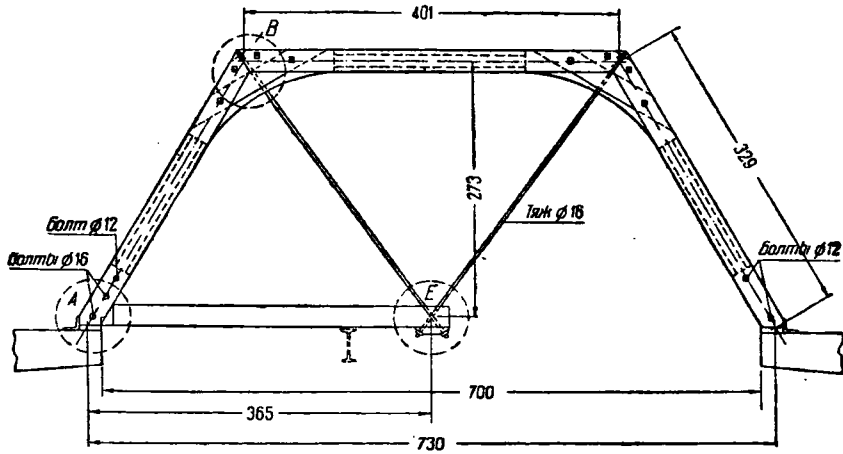
а) Схема и нагрузки (фиг. 23)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,51_1}{0,866_2} = 0,703; \quad \alpha = 35^\circ 40';$$

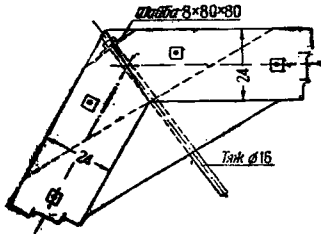
$$\cos \alpha = 0,817; \quad \sin \alpha = 0,575.$$

Расчетные нагрузки от собственного веса, снега и ветра — см. выше.

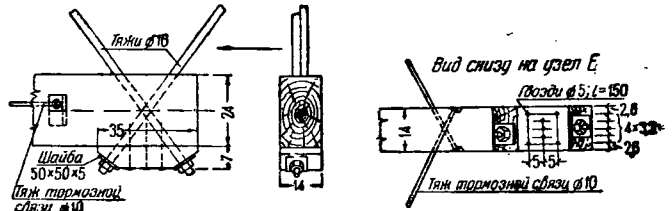
Монорельс подвешивается к любой точке балки AE.



Фиг. 26. Конструкция для подвешивания монорельса к раме. Общий вид



Фиг. 27. Деталь укрепления троса в узле В



Фиг. 28. Деталь узла Е

Грузоподъемность монорельса:

$$Q_1 = 1000 \text{ кг};$$

тележки:

$$Q_2 = 140 \text{ кг};$$

монорельсовой балки:

$$Q_3 = 60 \cdot 60 = 360 \text{ кг}.$$

Полная нагрузка на раму:

$$Q = 1000 + 140 + 360 = 1500 \text{ кг}.$$

Для проверки возможности появления сжимающих усилий в тросах *BE* и *CE* предполагаем, что монорельсовая балка может быть подвешена по неразрезной двухпролетной схеме (фиг. 24). В этом случае минимальная опорная реакция на крайней опоре:

$$R_0 = 0,375 \cdot Q_0 - 0,094 (Q_1 + Q_2) = 0,375 \cdot 360 - 0,094 \cdot 1140 = 28 \text{ кг},$$

т. е. даже при невыгоднейшей нагрузке сжимающих напряжений в тросах не возникает.

### б) Статический расчет

Наибольшее усилие в тросе *CE* возникает при нагружении системы силой *Q* и несимметричной нагрузкой (снег, ветер). Сила *T*, эквивалентная несимметричной нагрузке, определится из выражения:

$$T = \left( w_2 + \frac{p_2 - p_1}{4} \right) \frac{l_2}{\cos \varphi}.$$

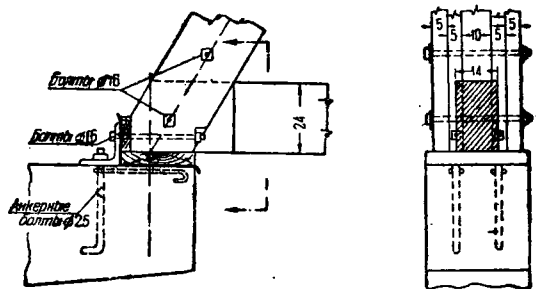
В нашем случае имеем (см. выше):

$$w_2 = 42 \cdot 6 = 252 \text{ кг/м};$$

$$p_2 = p_1 \frac{1}{1 - (1 - m) a} = 80 \cdot 6 \frac{1}{1 - (1 - 0,45) 0,61} = 720 \text{ кг, м горизонтальной проекции};$$

$p_1 = 80 \cdot 6 = 480 \text{ кг/м горизонтальной проекции, т. е.}:$

$$T = \left( 252 + \frac{720 - 480}{4} \right) \frac{3,29}{2 \cdot 0,866} = 592 \text{ кг}.$$



Фиг. 29. Деталь опорного узла А

Нормальные усилия в тросах [Ф-лы (9) и (9')]:

$$N_{CE} = \frac{P}{2 \cos \alpha} + \frac{T}{2} \cdot \frac{\sin(90 - \varphi)}{\sin(\alpha + \varphi)} = \frac{1500}{2 \cdot 0,817} + \frac{592}{2} \cdot \frac{0,866}{0,907} = 915 + 283 = 1198 \text{ кг};$$

$$N_{BE} = 915 - 283 = 632 \text{ кг}.$$

Нормальные усилия в элементе  $AE$ :

$$N_{AE} = T \cdot \frac{\sin(90^\circ - \varphi)}{\sin(\alpha + \varphi)} \cdot \sin \alpha = \\ = 592 \cdot \frac{0,866}{0,907} \cdot 0,575 = 325 \text{ кг.}$$

Для проверки напряжений в ригеле и ноге рамы нормальные усилия определяем приближенно, суммируя усилия от груза  $Q$  с усилиями в раме от нагрузок по фиг. 11 (см. пример проектирования):

$$N_{BC} = -\frac{P}{2} (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \varphi) - 1320 = \\ = -750 (0,703 + 0,577) - 1320 = -2280 \text{ кг.}$$

$$N_{CD} = -\frac{P}{2 \cos \varphi} - 2640 = \\ = -\frac{1500}{2 \cdot 0,866} - 2640 = -3505 \text{ кг.}$$

Опорные реакции будут:

$$H_D = \frac{P}{2} \operatorname{tg} \varphi + 1810 = 750 \cdot 0,577 + 1810 = 2210 \text{ кг.}$$

$$V_D = \frac{P}{2} + 2745 = 3495 \text{ кг.}$$

в) Подбор сечений

Тяжи  $BE$  и  $CE$

Расчетное усилие  $N = 1198$  кг.

Принимаем сечение из круглого железа  $\varnothing 15$   
Ослабленная площадь  $F_n = 1,37$  см<sup>2</sup>.

Напряжение:

$$n_+ = \frac{1198}{1,37} = 875 < 1100 \text{ кг/см}^2.$$

Ригель рамы  $BC$ :

$$N_{BC} = -2280 \text{ кг.}; M_1 = 180500 \text{ кгсм.}$$

Размеры сечения соответствуют принятым в примере 1. Напряжение:

$$n_- = \frac{N}{\varphi \cdot F_{\text{брутто}}} + \frac{M}{W} \cdot \frac{[n_-]}{[n_-]} = \\ = \frac{2280}{0,59 \cdot 480} + \frac{180500}{1920} \cdot \frac{100}{110} = 93,5 \approx 90 \text{ кг/см}^2.$$

Балка  $AE$ :

$$N_{AE} = 325 \text{ кг.}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{ql^2}{8} + \frac{Ql}{4} = \frac{18 \cdot 3,65^2}{8} + \\ + \frac{1500 \cdot 3,65}{4} = 1395 \text{ кгсм.}$$

Сечение:  $h = 24$  см;  $b = 14$  см;  $W = 1345$  см<sup>3</sup>.  
Пренебрегая нормальной силой, получим:

$$n_+ = \frac{M}{W} = \frac{139500}{1345} = 103 \approx 100 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжения в жестком узле, ноге и опорной конструкции рамы не требуют проверки вследствие малого изменения расчетных величин.

### 3. Рамы шпренгельного типа

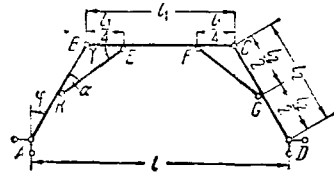
#### 1) Конструкция

Несущая способность рам шпренгельного типа значительно выше, чем рам с жесткими узлами.

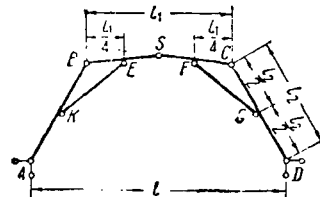
Шпренгельные рамы главным образом применяются для перекрытий больших пролетов (до 9—10 м), где двухшарнирные рамы обычно трудно осуществимы, однако и при меньших пролетах применение их оправдывается экономичностью и жесткостью и поэтому может быть рекомендовано во всех случаях, когда в архитектурном отношении конструкция не вызывает возражений.

Рама может быть выполнена по двухшарнирной (фиг. 30) или по трехшарнирной (фиг. 31 и 32) схеме.

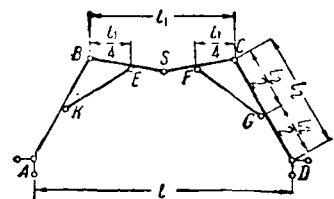
Двухшарнирная рама несколько более жестка, удобнее для монтажа и сама по себе несколько экономичнее трехшарнирной. Однако необходимость устройства уклона кровли, достигаемого в двухшарнирной раме клиновидными накладками, а в трехшарнирной — переломом оси ригеля в шарнире, делает обе конструкции экономически равноценными.



Фиг. 30. Двухшарнирная рама



Фиг. 31. Трехшарнирная рама с повышенным шарниром



Фиг. 32. Трехшарнирная рама с пониженным шарниром

Трехшарнирная схема имеет преимущество в том случае, когда нет уверенности в неподвижности опор рамы.

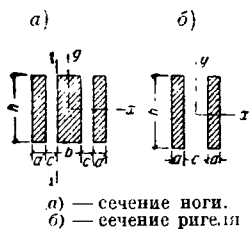
Положение шпренгеля в обеих схемах конструкции определяется требованием наилучшего использования мощности ног и ригеля, а также архитектурными соображениями.

Из этих соображений в схемах (фиг. 30, 31, 32) ригель подпирается шпренгелем в четвертях его длины, а ноги — в их серединах. При такой схеме ноги рамы обычно получаются более мощными, чем ригель, и сечения ног выполняются по фиг. 33, а или б.

При назначении размеров сечения ноги по фиг. 33, а следует обеспечивать полный срез гвоздей по внутреннему шву I—I, так как в противном случае может встретиться затруднение размещения их в узлах K и E (фиг. 30) при прикреплении шпренгеля. Обычно размер  $b = 2a$  обеспечивает удачное конструирование рамы.

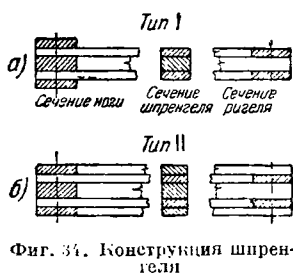
При сечениях ноги по фиг. 33, а и ригеля по фиг. 33, б они сопрягаются в

узле *B* простым перепуском концов досок. Благодаря незначительности расчетных усилий в узле *B* осуществление его не вызывает затруднений. При проектировании рамы особое внимание должно быть обращено на узлы *K* и *E* шпренгеля, в которых большая нормаль-



Фиг. 33. Сечения рамы:

ная сила требует значительного количества многосрезных соединений. Сечение шпренгеля и сопряжение его с ногою и ригелем могут быть выполнены по типу I или II (фиг. 34). Сопряжение по типу II рекомендуется при больших усилиях в шпренгеле, так как оно повышает мощность нагельного соединения в узле *E*.



Фиг. 34. Конструкция шпренгеля

Сопряжение по типу II может быть использовано также и в том случае, когда из архитектурных соображений желательно придать шпренгелю минимальную ширину.

2) Метод расчета

а) Двухшарнирная рама

Особенность расчета двухшарнирной рамы заключается в необходимости учета смещений и нагельных соединениях при наличии статической неопределенности рамы. Величина этих смещений в узлах *K*, *E* и *B* рамы влияет на работу конструкции, и это влияние должно быть учтено в расчете.

Статический расчет рамы может быть выполнен обычным «методом сил».

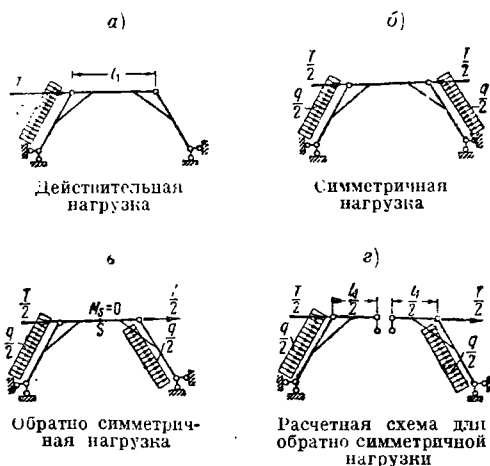
Большим удобством представляет разложение нагрузки на симметричную и обратно симметричную (метод Андре, фиг. 35). При обратно симметричной нагрузке изгибающий момент в середине ригеля  $M_0 = 0$ , что сводит вторую часть задачи к решению статически определимой конструкции (фиг. 35, в, г).

Изложенное позволяет принять следующий ход расчета двухшарнирной шпренгельной рамы<sup>1</sup>.

Расчет рамы на симметричную нагрузку. Основная система получается разрезом шпренгелей (фиг. 36) и представляет

собой четырехшарнирную раму, обладающую мгновенной неизменяемостью под действием симметричной части расчетной нагрузки.

Пренебрегая продольными деформациями элементов, определяем неизвестное усилие *X* в шпренгеле из уравнения упругой работы изгиба стержневой рамы в двух предположениях: 1) без учета нагельных смещений в узлах рамы и 2) с учетом нагельных смещений.



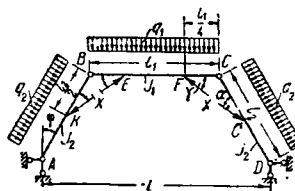
Фиг. 35. Метод Андре при расчете на несимметричную нагрузку

Таким образом получим два уравнения:

$$X \cdot \delta_{xx} + \Delta_{qx} = 0; X = - \frac{\Delta_{q,r}}{\delta_{x,x}}; \quad (11)$$

$$X' \delta'_{xx} + (\Delta'_{qx} - \Delta_0) = 0; X' = \frac{\Delta'_{qx} - \Delta_0}{\delta'_{xx}}; \quad (11')$$

$\delta_{xx}$  — упругое расхождение точек *K* и *E* под действием на основную систему сил  $X = 1$ ;  
 $\Delta_{qx}$  — упругое сближение точек *K* и *E* под действием симметричной части расчетной нагрузки;  
 $\Delta_0$  — сближение точек *K* и *E* вследствие сдвигов в соединениях узлов *K*, *E* и *B* под расчетной симметричной нагрузкой. Величину  $\Delta_0$  можно принять равной 0,2—0,3 см, считая влияние сдвига каждого из трех узлов равным в среднем 0,07—0,10 см.



Фиг. 36. Основная система

Величина  $\Delta_{qx}$  определится из выражения:

$$\Delta_{qx} = u_E \cdot \sin \gamma + u_K \sin \alpha, \quad (12)$$

где  $u_E$  и  $u_K$  — прогибы точек *E* и *K* в направлениях, перпендикулярных к ригелю и к ноге.

Величины прогибов  $u_E$  и  $u_K$  в точках *E* и *K* нетрудно найти из уравнения упругой линии простой балки<sup>2</sup>. В частном случае, когда точка

<sup>1</sup> Принцип заимствован из работ инж. В. Г. Писичкова (1932 г.).

<sup>2</sup> См. т. II, стр. 350.

$E$  находится в четверти длины ригеля, а точка  $K$  — в середине ноги, величины прогибов будут:

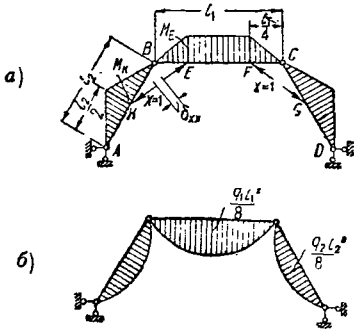
$$y_E = 0,00928 \frac{q_1 l_1^4}{EI_1}; \quad (13)$$

$$y_K = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_2 l_2^4}{EI_2}. \quad (13')$$

Величину  $\delta_{xx}$  найдем по формуле Мора-Максвелла (фиг. 37, а):

$$\begin{aligned} \delta_{xx} &= \frac{1}{2} \int_0^{l_1} \frac{M_x^2 \cdot dx}{EI_1} + \int_0^{l_2} \frac{M_y^2 \cdot dy}{EI_2} = \\ &= \frac{M_E^2 \cdot l_1}{3EI_1} + \frac{M_K^2 \cdot l_2}{3EI_2}, \end{aligned} \quad (14)$$

где  $M_E$  и  $M_K$  — изгибающие моменты в точках  $E$  и  $K$  основной системы от действия сил  $X = 1$ .



Фиг. 37. Эпюры  $M$  в фиктивном состоянии

Величину  $\delta_{xx}$  можно выразить также непосредственно через прогибы точек  $E$  и  $K$ , пользуясь уравнениями упругой линии элементов рамы:

$$\delta_{xx} = \frac{l_1^3}{48EI_1} \cdot \sin^2 \gamma + \frac{l_2^3}{48EI_2} \cdot \sin^2 \alpha. \quad (14')$$

Определив усилие  $X$  в шпренгеле без учета и с учетом гвоздевых смещений, можем построить для обоих случаев эпюры моментов, нормальных и поперечных сил от симметричного нагружения.

Для построения результирующей эпюры моментов достаточно наложить эпюру  $M_0$  (фиг. 37, б) на эпюру  $M_x$  (фиг. 37, а), увеличенную в  $X$  раз.

Расчет рамы на обратно симметричную нагрузку. Обратно симметричная нагрузка рамы может состоять из равномерного нагружения обеих ног (фиг. 35, з) и из двух сосредоточенных горизонтальных сил  $\frac{T}{2}$  на уровне ригеля. Последняя нагрузка обычно имеет место в том случае, когда между рамами располагаются промежуточные импосты.

При расчете рамы на обратно симметричную нагрузку рассматриваем ее как трехшарнирную статически определяемую с шарниром в середине ригеля.

Расчетная схема для этого случая (фиг. 35, з) позволяет без затруднений построить эпюры  $M$ ,  $N$  и  $Q$ .

В итоге имеем эпюры  $M$ ,  $N$  и  $Q$ :

- 1) от симметричной нагрузки без учета смещений в узлах,
- 2) от симметричной нагрузки с учетом смещений,

3) от обратно симметричной нагрузки.

Суммируя невыгоднейшим образом эти эпюры [1) и 3) или 2) и 3)], получим расчетные значения  $M$ ,  $N$  и  $Q$  для подбора сечений.

Предложенный метод расчета иллюстрируется примером 2.

**Пример 2.** Требуется определить изгибающие моменты в двухшарнирной шпренгелной раме, представленной на фиг. 36.

Размеры рамы:  $l = 8,3$  м;  $l_1 = 5,00$  м;  $l_2 = 3,30$  м;

$$\varphi = 30^\circ; \quad \alpha = 25^\circ 20'; \quad \gamma = 34^\circ 40'.$$

Симметричные нагрузки:

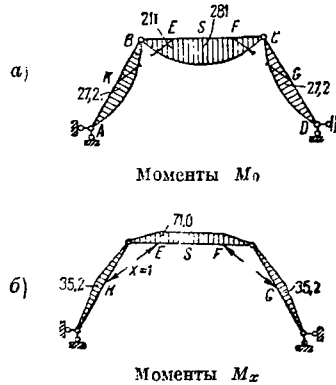
$$q_1 = 900 \text{ кг/м}; \quad q_2 = 200 \text{ кг/м}.$$

Моменты инерции приняты:

$$I_1 = 7100 \text{ см}^4; \quad I_2 = 10700 \text{ см}^4.$$

В фиктивной системе при действии на нее нагрузок  $q_1$  и  $q_2$  и силы  $x = 1$  м получаем эпюры изгибающих моментов в тонносантиметрах, представленные на фиг. 38, а и б. По ф-ле (12):

$$\begin{aligned} \Delta_{qx} &= y_E \sin \gamma + y_K \sin \alpha = 0,00928 \cdot \frac{9,0 \cdot 500^4}{10^5 \cdot 7100} \times \\ &\times 0,568 + \frac{5}{384} \cdot \frac{2,0 \cdot 330^4}{10^5 \cdot 10700} \cdot 0,427 = \\ &= 4,17 + 0,29 = 4,46 \text{ см}. \end{aligned}$$



Фиг. 38. Величины моментов в фиктивном состоянии

По ф-ле (14):

$$\begin{aligned} \delta_{xx} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{M_E^2 l_1}{EI_1} + \frac{M_K^2 l_2}{3EI_2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{71,0^2 \cdot 500}{10^5 \cdot 7100} + \\ &+ \frac{35,2^2 \cdot 330}{3 \cdot 10^5 \cdot 10700} = 1,185 + 0,075 = 1,26 \text{ см}. \end{aligned}$$

Усилие в шпренгеле без учета нагельных смещений по ф-ле (11):

$$X = - \frac{\Delta_{qx}}{\delta_{xx}} = - \frac{4,46}{1,26} = - 3,54 \text{ т}.$$

Возможное гвоздевое смещение  $\Delta_0$  назначаем: 1) за счет сдвига в узлах  $K$ ,  $B$  и  $E$  ( $\Delta_0' = 0,3$  см), 2) вследствие перемещения каждой из опор рамы на  $0,8$  см от середины пролета наружу:

$$\Delta_0'' = 0,8 \cdot \frac{r}{l_2 \cos 30^\circ} = 0,8 \cdot \frac{\sin \alpha}{2 \cos 30^\circ} = 0,2 \text{ см},$$

что дает:

$$\Delta_0 = \Delta_0' + \Delta_0'' = 0,3 + 0,2 = 0,5 \text{ см}.$$

Усилия в шпренгеле с учетом смещений узлов по ф-ле (11'):

$$x' = -\frac{\Delta q_x - \Delta_0}{\delta_{x,c}} = -\frac{4,43 - 0,5}{1,26} = -3,15 \text{ м.}$$

Ординаты энюры моментов без учета смещений (фиг. 38, а и б):

$$\begin{aligned} M_E = M_F &= 211 - 71 \cdot 3,54 = -40 \text{ тсм}; \\ M_S &= 281 - 71 \cdot 3,15 = 30 \text{ тсм}; \\ M_K = M_G &= 27,2 - 35,2 \cdot 3,54 = -97,4 \text{ тсм}. \end{aligned}$$

То же при учете смещений:

$$\begin{aligned} M_E = M_F &= 211 - 71 \cdot 3,15 = 13 \text{ тсм}; \\ M_S &= 281 - 71 \cdot 3,15 = 58 \text{ тсм}; \\ M_K = M_G &= 27,2 - 35,2 \cdot 3,15 = -83,8 \text{ тсм}. \end{aligned}$$

б) Трехшарнирная рама

Статический расчет трехшарнирной рамы приводится ниже. В общем случае конструкцию следует проверять на две комбинации нагрузок:

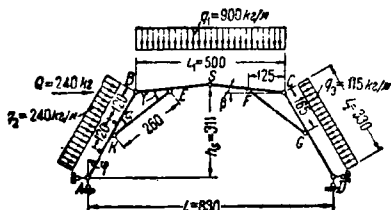
1. Собственный вес + ветер + равномерный снег.
2. Собственный вес + ветер + односторонний снег.

В невысоких рамах ( $\frac{l_2}{l} \leq 0,5$ ) при относительно малых боковых нагрузках расчетные усилия обычно возникают при загрузении *i* за исключением поперечной силы в шарнире, которая достигает наибольшей величины при загрузении 2. Как видно из рассматриваемого ниже примера, наибольшие величины *M*, *N* и *Q* имеют место в заветренной половине рамы.

3) Проект трехшарнирной шпренгельной рамы

а) Схема конструкции

Рамы располагаются через 6,00 м. В промежутках между ними в плоскости ног рамы устанавливаются наклонные импосты.



Фиг. 39. Схема конструкции и нагрузки

Величины углов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\varphi$  (фиг. 39) и их тригонометрические функции даны в табл. 3.

Таблица 3

| Угол      | Величина | tg    | sin   | cos   |
|-----------|----------|-------|-------|-------|
| $\alpha$  | 27°10'   | 0,427 | 0,392 | 0,913 |
| $\beta$   | 5°10'    | 0,100 | 0,100 | 0,995 |
| $\gamma$  | 11°10'   | 0,605 | 0,516 | 0,555 |
| $\varphi$ | 10°0'    | 0,577 | 0,500 | 0,866 |

б) Расчетные схемы загрузений

Все равномерные нагрузки ( $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ ) исчислены в килограммах на 1 м длины  $l_2$  и  $l_1$ .

При определении величины  $q_2$  и  $q_3$  действующие на ноги рамы вертикальные нагрузки

(снег, собственный вес) разлагались на составляющие, нормальные к ноге и параллельные ей. Последние в расчете не учитывались вследствие их малого влияния. При расчете учтены две схемы загрузения конструкции:

1) собственный вес + ветер слева + равномерный снег (фиг. 39):

$$q_1 = 900 \text{ кг}; \quad q_2 = 240 \text{ кг}; \quad q_3 = 115 \text{ кг};$$

$$Q = 240 \text{ кг};$$

2) собственный вес + ветер слева + односторонний снег:

$$q_1 = 660 \text{ кг}; \quad q_2 = 275 \text{ кг}; \quad q_3 = 115 \text{ кг};$$

$$Q = 300 \text{ кг}.$$

Нетрудно установить, что расчетные величины изгибающих моментов нормальных и поперечных сил имеют место при схеме 1, поперечных же сил в шарнире *S* — при схеме 2.

в) Расчетные величины

Опорные реакции:

$$\begin{aligned} V_A &= \frac{q_1 l_1}{2} + \frac{q_2 l_2}{l} \left( l \cdot \sin \varphi - \frac{l_2}{2} \right) + \\ &+ \frac{q_3 l_2^2}{2l} - \frac{Q l_2}{l} \cdot \cos \varphi = \frac{900 \cdot 5,0}{2} + \\ &+ \frac{240 \cdot 3,3}{8,3} \cdot \frac{5}{2} + \frac{115 \cdot 3,3^2}{2 \cdot 8,3} - \frac{240 \cdot 3,3}{8,3} \cdot 0,866 = \\ &= 2480 \text{ кг}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_D &= q_1 l_1 + (q_2 + q_3) l_2 \cdot \sin \varphi - V_A = \\ &= 900 \cdot 5,0 + 355 \cdot 3,3 \cdot 0,5 - 2480 = 2605 \text{ кг}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_D &= \frac{1}{2h_s} \cdot \left[ V_D \cdot l - \frac{q_1 l_1^2}{4} - q_3 \cdot l_2 \left( l_2 + l_1 \frac{\sin(\beta + \varphi)}{\beta} \right) \right] - \\ &= \frac{1}{2 \cdot 3,11} \left[ 2605 \cdot 8,3 - \frac{900 \cdot 5,0^2}{4} - \right. \\ &\left. - 115 \cdot 3,3 \left( 3,3 + 5 \frac{0,582}{0,995} \right) \right] = 2190 \text{ кг}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_A &= H_D - (q_2 + q_3) \cdot l_2 \cdot \cos \varphi - Q = \\ &= 2190 - 125 \cdot 3,3 \cdot 0,866 - 240 = 1593 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Усилия в шпренгелях *KE* и *FG*. Из уравнения моментов относительно точек *B* и *C* получим:

$$\begin{aligned} N_{KE} &= -\frac{1}{\sin \alpha} [q_2 l_2 + 2H_A \cdot \cos \varphi - 2V_A \cdot \sin \varphi] = \\ &= -\frac{1}{0,392} [240 \cdot 3,3 + 2 \cdot 1593 \cdot 0,866 - \\ &- 2 \cdot 2480 \cdot 0,5] = -2720 \text{ кг}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{FG} &= -\frac{1}{\sin \alpha} [q_3 l_2 + 2H_D \cdot \cos \varphi - 2V_D \cdot \sin \varphi] = \\ &= -\frac{1}{0,392} [115 \cdot 3,3 + 2 \cdot 2190 \cdot 0,866 - \\ &- 2 \cdot 2605 \cdot 0,5] = -3990 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Изгибающие моменты в ноге и ригеле рамы можем определить как в простых балках с пролетами  $l_2$  и  $\frac{l_1}{2}$ , загруженных помимо сил  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  усилиями в шпренгелях:

$$\begin{aligned} M_G &= \frac{q_3 l_2^2}{8} - \frac{N_{FG} \cdot l_2}{4} \cdot \sin \alpha = \\ &= \frac{115 \cdot 3,3^2}{8} - \frac{3990 \cdot 3,3}{4} \cdot 0,392 = -1133 \text{ кгм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_K &= \frac{q_2 l_2^2}{8} - \frac{N_{KE} \cdot l_2}{4} \cdot \sin \alpha = \\ &= \frac{240 \cdot 3,3^2}{8} - \frac{2720 \cdot 3,3}{4} \cdot 0,392 = -554 \text{ кгм}; \end{aligned}$$



$$M_F = \frac{q_1 l_1^2}{4 \cdot 8} - \frac{N_{FG} \cdot l_1}{8} \cdot \frac{\sin \gamma}{\cos \beta} =$$

$$= \frac{900 \cdot 5,0^2}{32} - \frac{3990 \cdot 5,0}{8} \cdot \frac{0,516}{0,995} = -590 \text{ кгм};$$

$$M_E = \frac{q_1 l_1^2}{4 \cdot 8} - \frac{N_{KE} \cdot l_1}{8} \cdot \frac{\sin \gamma}{\cos \beta} =$$

$$= \frac{900 \cdot 5,0^2}{32} - \frac{2720 \cdot 5,0}{8} \cdot \frac{0,516}{0,995} = -180 \text{ кгм}.$$

Поперечные силы в ногах:

$$Q_C^{(n)} = -Q_D^{(n)} = \frac{q_2 l_2}{4} + \frac{M_D \cdot 2}{l_2} =$$

$$= 115 \cdot 0,825 - \frac{1433 \cdot 2}{3,30} = -591 \text{ кг};$$

$$Q_A^{(n)} = -Q_B^{(n)} = \frac{q_2 l_2}{4} + \frac{M_B \cdot 2}{l_2} =$$

$$= 240 \cdot 0,825 - \frac{534 \cdot 2}{3,30} = -138 \text{ кг}.$$

Поперечные силы в ригеле:

$$Q_C^{(p)} = -Q_C^{(p)} = \left( \frac{q_1 l_1}{8} - \frac{M_F \cdot 4}{l_1} \right) \cos \beta =$$

$$= \left( \frac{900 \cdot 5,0}{8} - \frac{590 \cdot 4}{5,0} \right) \cdot 0,995 = 90 \text{ кг};$$

$$Q_B^{(p)} = \left( \frac{q_1 l_1}{8} + \frac{M_E \cdot 4}{l_1} \right) \cos \beta =$$

$$= \left[ \frac{900 \cdot 5,0}{4} - \frac{180 \cdot 4}{5,0} \right] \cdot 0,995 = 416 \text{ кг}.$$

Нормальные силы. Усилие в нижней половине ноги CD:

$$N_{GD} = -H_D \cdot \sin \varphi - V_D \cdot \cos \varphi =$$

$$= -2190 \cdot 0,5 - 2605 \cdot 0,866 = -3350 \text{ кг}.$$

Усилие в верхней половине ноги CD:

$$N_{GC} = N_{GD} - N_{FG} \cdot \cos \alpha = -3350 +$$

$$+ 3990 \cdot 0,918 = +316 \text{ кг}.$$

Усилие в нижней половине ноги AB:

$$N_{AK} = -H_A \cdot \sin \varphi - V_A \cdot \cos \varphi =$$

$$= -1593 \cdot 0,5 - 2480 \cdot 0,866 = -2946 \text{ кг}.$$

Усилие в верхней половине ноги AB:

$$N_{KB} = N_{AK} - N_{KE} \cdot \cos \alpha =$$

$$= -2946 + 2720 \cdot 0,918 = +446 \text{ кг}.$$

Усилие в ригеле в точке C:

$$N_C = N_{CG} \cdot \sin (30 + \beta) - Q_C^{(n)} \cdot \cos (30 + \beta) =$$

$$= 310 \cdot 0,582 + 591 \cdot 0,812 = 660 \text{ кг}.$$

Усилие в ригеле в точке F:

$$N_F = N_C + \frac{q_1 l_1}{4} \cdot \sin \beta + N_{FG} \cdot \cos \gamma =$$

$$= 660 + \frac{900 \cdot 5,0}{4} \cdot 0,10 - 3990 \cdot 0,85 = -2638 \text{ кг}.$$

Вертикальную реакцию в шарнире S определяем по формуле:

$$V_S = \frac{q_1 l_1}{2} + q_2 l_2 \cdot \sin \varphi - V_D$$

При нагружении по схеме 2 (фиг. 39):

$$V_D = \frac{660 \cdot 5,0}{2} + \frac{275 \cdot 3,3^2}{2 \cdot 8,3} + \frac{115 \cdot 3,3 \cdot 5,0}{2 \cdot 8,3} +$$

$$+ \frac{300 \cdot 3,3}{8,3} \cdot 0,866 = 2647 \text{ кг};$$

$$V_S = \frac{660 \cdot 5,0}{2} + \frac{115 \cdot 3,3}{2} - 2647 = -207 \text{ кг}.$$

г) Расчет элементов

Нога:

$$M = 113300 \text{ кгсм}; \quad N = -3350 \text{ кг}.$$

Принимаем сечение по фиг. 33,а размерами:

$$h = 24 \text{ см}; \quad a = 4 \text{ см}; \quad b = 8 \text{ см}; \quad c = 4 \text{ см};$$

$$F_{\text{брутто}} = 384 \text{ см}^2; \quad W_x = \frac{16 \cdot 24^2}{6} = 1535 \text{ см}^3;$$

$$r_x = 6,94 \text{ см}; \quad l_x = 330 \text{ см};$$

$$\frac{l_x}{r_x} = \frac{330}{6,94} = 47,6; \quad \varphi_x = 0,66;$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I}{F_{\text{брутто}}}} = \sqrt{\left( \frac{2ha^3}{12} + \frac{hb^3}{12} \right) : 4ah} =$$

$$= 0,46a = 0,46 \cdot 4 = 1,84 \text{ см};$$

$$l_y = 120 \text{ см}; \quad \frac{l_y}{r_y} = \frac{120}{1,84} = 65; \quad \varphi_y = 0,55;$$

$$n = \frac{N}{F \cdot \varphi_y} + \frac{M}{W} \cdot \frac{[n]}{[n]} =$$

$$= \frac{3350}{384 \cdot 0,55} + \frac{113300}{1535} \cdot \frac{100}{110} = 83 < 90 \text{ кг/см}^2.$$

Примечание. При определении  $r_y$  считаем, что гвозди, соединяющие отдельные доски ноги, не могут обеспечить монолитности составного сечения ноги, но обеспечивают одновременную деформацию досок из плоскости рамы.

Ригель

$$M = 59000 \text{ кгм}; \quad N = -2638 \text{ кг}.$$

Принимаем сечение по фиг. 33,б размерами:

$$h = 24 \text{ см}; \quad a = 4 \text{ см}; \quad c = 8 \text{ см}; \quad F_{\text{брутто}} = 192 \text{ см}^2;$$

$$W_x = 768 \text{ см}^3; \quad l_x = 252 \text{ см};$$

$$\frac{l_x}{r_x} = \frac{252}{6,94} = 36; \quad \varphi_x = 0,74;$$

$$n = \frac{N}{F_1 \varphi_y} + \frac{M}{W} \cdot \frac{[n]}{[n]} = \frac{2638}{192 \cdot 0,74} +$$

$$+ \frac{59000}{768} \cdot \frac{100}{110} = 89 < 90 \text{ кг/см}^2.$$

Шпренгель.  $N = -3990 \text{ кг}$ .

Принимаем сечение по фиг. 33, б размерами:

$$h = 16 \text{ см}; \quad a = 4 \text{ см}; \quad c = 8 \text{ см};$$

$$F_{\text{брутто}} = 128 \text{ см}^2; \quad l_x = l_y = 260 \text{ см};$$

$$\frac{l_x}{r_x} = \frac{260}{4,62} = 56,5; \quad \varphi_x = 0,60;$$

$$\frac{l_y}{r_y} = \frac{260}{6,11} = 42,5; \quad \varphi_y = 0,70;$$

$$n = \frac{N}{F_1 \varphi_x} = \frac{3990}{128 \cdot 0,6} = 52 < 90 \text{ кг/см}^2.$$

Узел E (фиг. 41)

В узле E шпренгель прикрепляется к ригелю болтом  $\varnothing 16$  и гвоздями  $\varnothing 4,5 \text{ мм}$ ,  $l = 90$  через прокладку, внешние же элементы шпренгеля обрезаются по кромке ригеля и могут не приторцовываться.

Допускаемое усилие на один срез болта  $\varnothing 16$  при  $\gamma = 31^\circ$  в полусухой древесине:

по изгибу:

$$T'_b = 0,5 \cdot 1,6^2 \sqrt{1400 \cdot 60} = 372 \text{ кг};$$

по смятию древесины ригеля:

$$T''_b = 0,7 \cdot 4 \cdot 1,6 \cdot 60 = 269 \text{ кг}.$$

Необходимое число гвоздей на узел:

$$m = \frac{3990 - 269 \cdot 2}{59} = 59 \text{ шт}.$$

Узел К. В узле К (фиг. 42) внешние элементы шпренгеля непосредственно соединяются с ногой гвоздями  $\varnothing 4,5$ ,  $l=125$  мм и болтом  $\varnothing 16$  мм.

Допускаемое усилие на один срез болта при угле  $\alpha = 23^\circ$ :  
по изгибу:

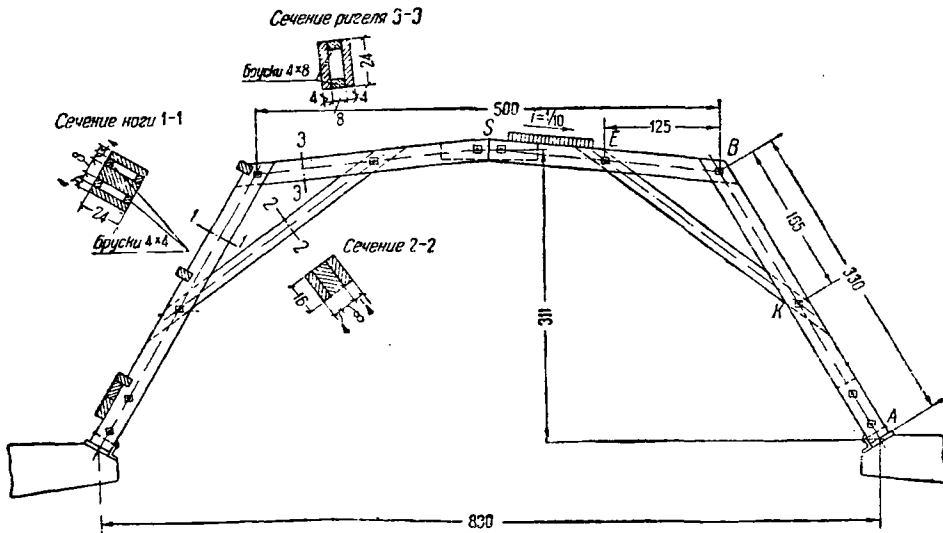
$$T_6 = 0,5 \cdot 1,6^2 \sqrt{1400 \cdot 65} = 384 \text{ кг.}$$

Для передачи нормального усилия с прокладки на внешние элементы шпренгеля нужно поставить дополнительно гвоздей:

$$m_2 = \frac{3990}{59} = 68 \text{ шт.}$$

Всего на шпренгель требуется гвоздей:

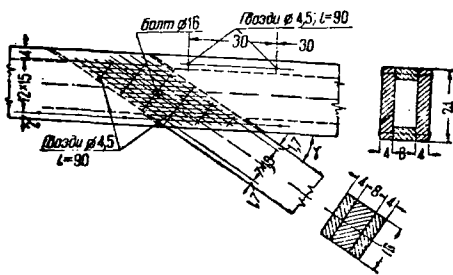
$$m_1 + m_2 = 93 \text{ шт.}$$



Фиг. 40. Трехшарнирная рама шпренгельного типа пролетом  $l = 8,3$  м. Общий вид

по смятию древесины ноги:

$$T_6 = 0,7 \cdot 4 \cdot 1,6 \cdot 65 = 291 \text{ кг.}$$



Фиг. 41. Деталь узла Е

Необходимое число двухсрезовых гвоздей на узел

$$m = \frac{3990 - 291 \cdot 2}{59 \cdot 2} = 29 \text{ шт.}$$

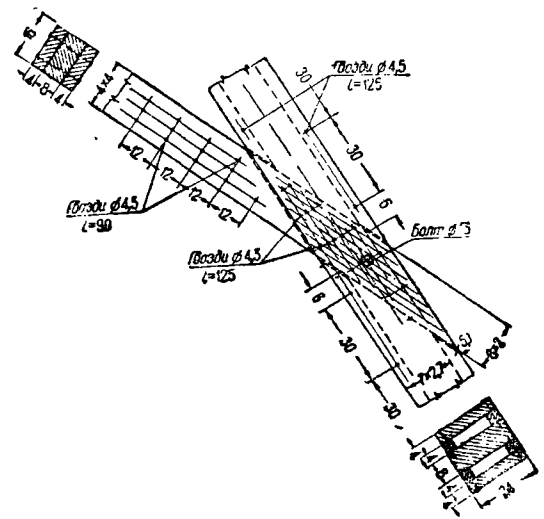
Расчет гвоздей в шпренгеле. Сдвигающая сила по шву при продольном изгибе на половине расчетной длины:

$$T_0^{II} = k_c \cdot \frac{s}{h_1} \cdot \frac{[m]}{[n-1]} \left( \frac{1}{\varphi_H} - 1 \right) \frac{N}{F} =$$

$$= 1,03 \cdot \frac{384}{8} \cdot \frac{110}{100} \left( \frac{1}{0,7} - 1 \right) \cdot \frac{3990}{128} = 730 \text{ кг.}$$

Необходимое число односрезовых гвоздей  $\varnothing 4,5$ ,  $l=90$  мм на полную длину шпренгеля:

$$m_1 = \frac{730 \cdot 2}{59} = 25 \text{ шт.}$$



Фиг. 42. Деталь узла К

Узел В (фиг. 43):

$$N_C^{(K)} = 310 \text{ кг.}; \quad Q_C^{(K)} = 591 \text{ кг.}$$

Равнодействующая усилий  $N_C^{(K)}$  и  $Q_C^{(K)}$ :

$$R = \sqrt{591^2 + 310^2} = 670 \text{ кг.}$$



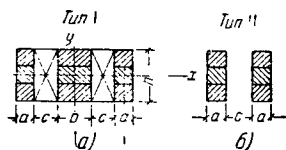
По схеме II выполняются сравнительно низкие рамы, где отношение длины ноги  $l_2$  к пролету рамы  $l$  составляет не более 0,25—0,30. В более высоких рамах схема II требует применения на арку тонких досок, что создает некоторые конструктивные трудности. В этом случае при уклоне кровли наружу следует переходить к схеме III (фиг. 48), очерчивая арку из двух центров с переломом оси в точке  $S$ .

Жесткие балки, воспринимающие главным образом изгибающие моменты, обычно имеют высокие сечения, гибкая же арка развивается преимущественно в ширину. Последнее особенно необходимо, когда продольные связи по нижнему поясу отсутствуют.

Учитывая значительную потерю жесткости арки вследствие податливости соединений (гвоздей), можно принять, что отношение жесткости верхнего пояса к жесткости арки в плоскости системы равно бесконечности.

Таким образом можно считать, что изгибающие моменты полностью передаются на жесткие балки, арка же представляет собой кинематическую цепь, неизменяемость которой обеспечена стойками.

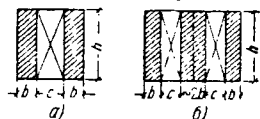
В зависимости от пролета и нагрузки сечение арки выполняется по типу I (фиг. 49, а) или по типу II (фиг. 49, б).



Фиг. 49. Сечение арки

Для обеспечения полного среза гвоздей в среднем элементе сечения типа I ширину его следует принимать  $b \approx 2a$ .

Жесткие балки (нога и ригель) выполняются из двух или трех элементов (фиг. 50, а, б). Если при трехветвевом сечении арки нога выполняет-



Фиг. 50. Сечение жестких балок

ся из двух досок, а ригель из трех или одной, то узлы А и В конструируются наиболее удачно.

В опорном узле А элементы должны быть центрированы. Поэтому доски ноги следует располагать в разных плоскостях с ветвями арки, так как в противном случае срезка ноги по кромке нижнего пояса усложняет конструкцию.

Конструкция узла S должна допускать возможность расчленения рамы на две независимые части, что зачастую необходимо при транспортировании и монтаже конструкции.

В стойках системы обычно возникают только сжимающие усилия, поэтому для сопряжения их с поясами может быть допущен простой торцевой упор. Однако из соображения монтажа должна быть обеспечена возможность восприятия сопряжениями небольших растягивающих усилий.

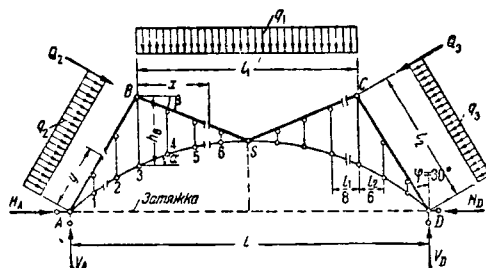
Назначая расстояния между стойками, необходимо учитывать гибкость арки и внешний вид конструкции.

2) Методы расчета

а) Аналитический метод

Все действующие на раму равномерно распределенные нагрузки можно привести к трем<sup>1</sup> (фиг. 51):

$$\begin{aligned} q_1 &= g_1 + p_1; \\ q_2 &= (g_2 + p_2) \sin^2 \varphi + w_2; \\ q_3 &= (g_3 + p_3) \sin^2 \varphi - w_3. \end{aligned}$$



Фиг. 51. Расчетная схема

Действие на раму промежуточных импостов выражаем силами  $Q_2$  и  $Q_3$ , нормальными к ноге рамы, причем:

$$Q_2 = \frac{q_2 l_2}{2} \text{ и } Q_3 = \frac{q_3 l_2}{2}.$$

Составляющими нагрузок, действующими вдоль ног, вследствие малого их влияния на напряжения пренебрегаем.

Нижне рассмотрен аналитический расчет рамы по схеме I (фиг. 46) при угле  $\varphi = 30^\circ$ .

Но выведенными формулами можно пользоваться и при расчете рам по схемам II и III, изменив знак у угла  $\beta$  на обратный. Вертикальные составляющие опорных реакций определяются как в простой балке пролетом  $l$  (фиг. 51):

$$\begin{aligned} V_A &= \frac{q_1 l_1}{2} + \frac{q_2 l_2 \cdot l_1}{2l} + \frac{q_3 l_1^2}{2l} + Q_2 \frac{l_1 - l_2}{2l} + \\ &+ Q_3 \frac{l_2}{2l} = \frac{q_1 l_1}{2} + \frac{q_2 l_2}{4l} (3l_1 - l_2) + \frac{3q_3 l_1^2}{4l}; \\ V_D &= \frac{q_1 l_1}{2} + \frac{q_3 l_2}{4l} (3l_1 - l_2) + \frac{3q_2 \cdot l_2^2}{4l}. \end{aligned} \quad (15)$$

Горизонтальные составляющие опорных реакций находим из уравнения моментов относительно точки S:

$$\begin{aligned} H_A &= \frac{1}{2l} \left[ V_A l - \frac{q_1 l_1}{4} - q_2 l_2 (l_2 + l_1 \cdot \frac{\sin(30 - \beta)}{\cos \beta} - \right. \\ &\left. - p_2 l_1 \frac{\sin(30 - \beta)}{\cos \beta} \right] = \frac{1}{2l} \left[ V_A l - \frac{q_1 l_1}{4} - q_2 l_2 (l_2 + \right. \\ &\left. + \frac{3}{2} l_1 \frac{\sin(30 - \beta)}{\cos \beta} \right]; \end{aligned} \quad (16)$$

$$H_D = \frac{1}{2l} \left[ V_D l - \frac{q_1 l_1}{4} - q_3 l_2 \left( l_2 + \frac{3}{2} l_1 \frac{\sin(30 - \beta)}{\cos \beta} \right) \right].$$

Усилие в любой панели арки определяется по формуле:

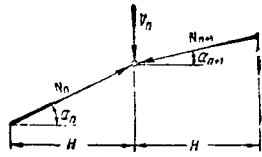
$$N = \frac{H}{\cos \alpha}, \quad (17)$$

где  $H$  — горизонтальная составляющая усилия в данной панели, а  $\alpha$  — угол наклона оси арки к горизонту в той же панели. Величина  $H$  в общем случае имеет постоянную величину: при не-

<sup>1</sup> См. стр. 440.

симметричной нагрузке — соответственно для левой и правой половины арки, при симметричной нагрузке — для всей арки, что нетрудно видеть из условий равновесия нижних узлов стоек (фиг. 52).

Величины  $H^{(лев)}$  и  $H^{(прав)}$  для левой и правой половины арки определяются из уравнений моментов относительно точек  $B$  и  $C$  всех сил, расположенных слева или справа от вертикального разряда, проведенного около этих точек (фиг. 51):



Фиг. 52. Статическая схема узла арки

$$0,5V_A \cdot l_2 - H_A \cdot l_2 \cos 30^\circ - 0,5q_2 l_2 - H^{(лев)} \cdot h_B - P_2 = 0;$$

$$H^{(лев)} = - \frac{l_2}{2h_B} \cdot (1,73H_A + q_2 \cdot l_2 - V_A)$$

или

$$H^{(прав)} = - \frac{l_2}{2h_C} (1,73H_D + q_3 l_2 - V_D), \quad (18)$$

где  $h_B$  и  $h_C$  — высоты стоек под узлами  $B$  или  $C$ . Усилие в стойке определится из уравнения равновесия нижних узлов  $\sum y = 0$  (фиг. 52):

$$V_n = H (\operatorname{tg} \alpha_n - \operatorname{tg} \alpha_{n+1}).$$

Нормальное усилие в любой панели ноги найдем методом разреза системы в данной панели из условия, что сумма проекций на ось ноги всех сил, действующих на вырезанную часть системы, равна нулю (фиг. 51).

Для левой ноги:

$$\begin{aligned} N_n^{(лев)} &= -H_A \cdot \sin 30^\circ - V_A \cdot \cos 30^\circ - \\ &- N \cos (60^\circ - \alpha) = -0,5H_A - 0,866V_A - \\ &- H^{(лев)} \frac{\cos (60^\circ - \alpha)}{\cos \alpha}; \end{aligned}$$

для правой ноги:

$$\begin{aligned} N_n^{(прав)} &= -0,5H_D - 0,866V_D - \\ &- H^{(прав)} \frac{\cos (60^\circ - \alpha)}{\cos \alpha}. \end{aligned}$$

Нормальное усилие в любой панели ригеля определим тем же методом. Проектируя все силы на ось ригеля (фиг. 51), получим:

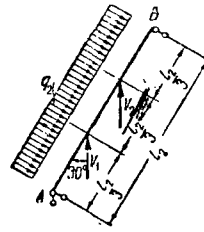
$$\begin{aligned} N_p^{(лев)} &= V_A \cdot \sin \beta - H_A \cos \beta - \\ &- q_2 l_2 \cos (30^\circ - \beta) - q_1 x \sin \beta - P_2 \cdot \cos (30^\circ - \beta) - \\ &- H^{(лев)} \frac{\cos (\alpha + \beta)}{\cos \alpha} = V_A \cdot \sin \beta - \\ &- H_A \cdot \cos \beta - 1,5q_2 l_2 \cdot \cos (30^\circ - \beta) - q_1 x \sin \beta - \\ &- H^{(лев)} \frac{\cos (\alpha + \beta)}{\cos \alpha}; \quad (20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_p^{(прав)} &= V_D \cdot \sin \beta - H_D \cdot \cos \beta - \\ &- 1,5q_3 l_2 \cdot \cos (30^\circ - \beta) - q_1 x \sin \beta - \\ &- H^{(прав)} \frac{\cos (\alpha + \beta)}{\cos \alpha}. \end{aligned}$$

При пользовании ф-лами (15)—(20) входящие в них величины  $V_A$ ,  $H_A$ ,  $H$  должны быть взяты

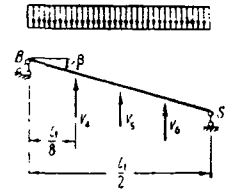
со своим знаком; углы  $\alpha$  соответствуют расматриваемой панели арки.

Изгибающие моменты и поперечные силы в ноге могут быть определены как в простой балке пролетом  $l_2$ .



а)

Нога



б)

Ригель

Фиг. 53. Расчетные схемы жестких балок

При наличии двух стоек в третью ногу (фиг. 53, а):

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{q_2 l_2^2}{9} - (V_1 + 0,5V_2) \frac{l_2}{9}; \\ M_2 &= \frac{q_2 l_2^2}{9} - (V_2 + 0,5V_1) \frac{l_2}{9}; \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_A &= \frac{q_2 l_2}{2} - \frac{2V_1 + V_2}{6}; \\ Q_B &= -\frac{q_2 l_2}{2} + \frac{V_1 + 2V_2}{6}. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Изгибающие моменты и поперечные силы в ригеле  $BS$  определяем, как в простой балке пролетом  $0,5 l_1$ .

Для обычного случая при трех стойках в четвертых пролета (фиг. 53.б):

$$\left. \begin{aligned} M_4 &= \frac{3}{128} \cdot q_1 l_1^2 - (3V_4 + 2V_5 + V_6) \frac{1}{32} l_1; \\ M_5 &= \frac{1}{32} q_1 l_1^2 - (V_4 + 2V_6 + V_6) \frac{1}{16} l_1; \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_B &= \left( \frac{q_1 l_1}{4} - \frac{3V_4 + 2V_5 + V_6}{4} \right) \cos \beta; \\ Q_S &= \left( -\frac{q_1 l_1}{4} + \frac{3V_6 + 2V_5 + V_4}{4} \right) \cos \beta. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Наибольшие расчетные усилия во всех элементах конструкции (фиг. 46) обычно имеют место при совместном действии равномерной снеговой нагрузки и ветра. Если отношение длины ноги к ригелю не превышает  $\frac{l_2}{l_1} = 0,4 - 0,5$ , то при совместном действии ветра и односторонней снеговой нагрузки расчетное значение получает только поперечная сила в шарнире  $S$ , остальные же элементы конструкции могут не повреждаться.

На основании выведенных выше ф-л [(15)—(24)] можно установить следующее:

1. Наибольшие изгибающие моменты, нормальные и поперечные силы возникают в заветренной половине конструкции.

2. При наличии в системе затяжки расчетное усилие в ней равно по величине горизонтальной составляющей опорной реакции с заветренной стороны, считая эту опору подвижной.

3. Наибольшее нормальное усилие в арке имеет место в опорной панели.

4. При достаточно равномерном распределении стоек наибольшее усилие возникает в стойке  $I$ .

Ввиду того что при расчетном нагружении в арке обычно возникают только сжимающие усилия, все стойки в системе сжаты.

5. Обычно в ноге действует растягивающее усилие [ф-ла (20)], достигающее наибольшей величины в опорной панели.

6. Расчетный момент в ноге, как правило, отрицателен. В ноге, разбитой на три панели (фиг. 53, а), он достигает наибольшего значения над стойкой 1.

7. В рамках по схеме I (фиг. 46) нормальная сила и изгибающий момент в ригеле обычно невелики, и сечение ригеля назначается по конструктивным соображениям из условия размещения гвоздей в сопряжениях и достаточной жесткости балки.

б) Графоаналитический метод расчета

Имея аналитически вычисленные величины  $V_D, H_D, V_S, H_S$  и  $H$ , нормальные усилия в эле-

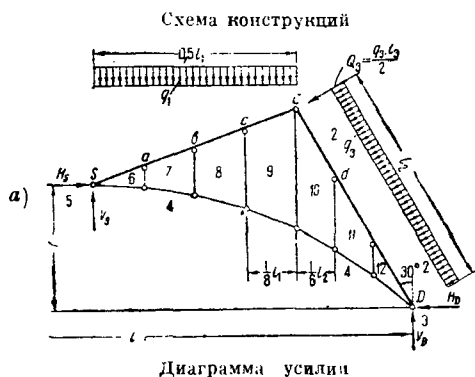
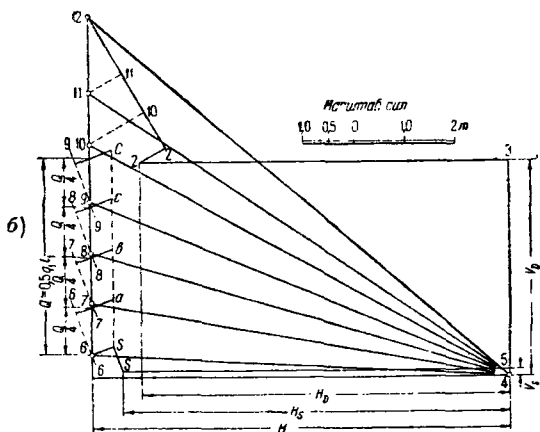


Диаграмма усилия



Фиг. 54. Графический расчет нормальных усилий

ментах конструкции (фиг. 54, а) можно определить графическим методом. При этом необходимо учесть, что в узлах  $S, C$  и  $D$  помимо внешних сил и нормальных усилий в элементах действуют также поперечные силы в жестких балках, нормальные к их осям.

Представленная на фиг. 54, б диаграмма строится следующим образом.

Отложив в некотором масштабе величину  $H$ , проводим из точки 4 лучи, параллельные

соответствующим панелям арки, а через левый конец отрезка  $H$  — вертикаль (параллельную стойкам).

Тогда измеренные в принятом масштабе отрезки 4—12, 4—11 и т. д. дадут усилия в панелях арки, а отрезки 12—11, 11—10 и т. д. — усилия в стойках.

Переходя далее к опорному узлу  $D$ , имеем в нем две неизвестные по величине силы: продольную в поясе 2—12 и поперечную в сечении  $D$  жесткой балки  $DC$ .

Зная направление этих сил, величину их определяем с помощью силового многоугольника 12—4, 4—3, 3—2, 2—2 и 12—2.

Усилия в ригеле (6— $S$ ) и поперечную силу  $S$ — $S$  в конечном его сечении  $S$  найдем из силового многоугольника 6—4, 4—5, 5— $S$ ,  $S$ — $S$  и 6— $S$ .

Для определения нормальных усилий в панелях 2—11 и 2—10 ноги необходимо вычесть из усилия в нижней панели (2—12) проекции на ось ноги усилий в стойках 11—12 и 10—11, что и выполнено графически на фиг. 54, б.

Для получения нормального усилия в произвольном сечении ригеля необходимо сложить усилие  $S$ —6 в конечном сечении его с суммой проекций на ось ригеля внешних сил и усилий в стойках, приложенных к ригелю слева от рассматриваемого сечения.

Графическое построение для определения усилий в произвольном сечении ригеля может быть выполнено следующим образом (фиг. 54, б).

От точки 6 диаграммы откладываем вверх в принятом масштабе сил отрезок, равный по величине полной равномерной нагрузке на ригель  $Q = 0,5 q_1 l_1$ .

Разделив отрезок на четыре равные части (по числу панелей в ригеле), проводим через точки деления прямые, параллельные оси ригеля, а через точки 6, 7, 8, 9 — нормали к этой оси 6—6, 7—7, 8—8 и 9—9.

Тогда отрезки, параллельные оси ригеля, заключенные между нормалью к ней 6—6, 7—7, 8—8, 9—9 и вертикалью  $S$ — $C$  (пунктирные линии на фиг. 54, б), представляют собой усилия в соответствующих сечениях ригеля.

Поперечные силы в сечении  $C$  ноги ригеля удобнее определять аналитически.

3) Пример проектирования

а) Конструктивная схема и нагрузки (фиг. 51)

Размеры рамы:  $l = 12,4$  м;  $l_2 = 4,54$  м;  $l_1 = l - l_2 = 7,86$  м;  $f = 2,48$  м;  $h = l_2 \cos \varphi = 3,94$  м.  $h_D = 2,35$  м.

Расстояние между рамами  $a = 6,0$  м.

В промежутках между рамами поставлены наклонные импосты (в плоскости ноги рамы):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta &= 0,374; \quad \beta = 20^\circ 25'; \quad \sin \beta = 0,349; \\ \cos \beta &= 0,936; \end{aligned}$$

$\operatorname{tg} \varphi = 0,577; \quad \varphi = 30^\circ; \quad \sin \varphi = 0,5; \quad \cos \varphi = 0,866$ . Арка очерчивается по окружности; расчетный радиус:

$$R = \frac{l^2 + 4f^2}{8f} = \frac{12,4^2 + 4 \cdot 2,48^2}{8 \cdot 2,48} = 8,99 \text{ м.}$$

Ординаты арки, вычисленные по формуле  $y = f - R + \sqrt{R^2 - x^2}$ , углы  $\alpha$  и тригонометрически

ские функции их для середины панелей приведены в табл. 4.

Таблица 4

| № сечения | X (см) | Y (см) | tg α   | α      | cos α | sin α  |
|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| D         | 620    | 0      | 0,857  | 40°40' | 0,758 | 0,652  |
| 1         | 543    | 66     | 0,580  | 34°15' | 0,823 | 0,562  |
| 2         | 468    | 117    | 0,560  | 29°17' | 0,872 | 0,488  |
| 3         | 333    | 159    | 0,408  | 2°15'  | 0,922 | 0,373  |
| 4         | 295    | 198    | 0,296  | 16°32' | 0,957 | 0,285  |
| 5         | 197    | 227    | 0,1735 | 9°51'  | 0,984 | 0,171  |
| 6         | 99     | 243    | 0,0505 | 2°53'  | 0,998 | 0,0505 |
| 7         | 0      | 248    | —      | —      | —     | —      |

В расчете приняты следующие схемы нагружения (в килограммах на 1 м длины  $l_1$  и  $l_2$ ).

Схема 1. Постоянная нагрузка + равномерный снег + ветер слева:

$$q_1 = 990 \text{ кг}$$

$$q_2 = 192 \text{ »}$$

$$q_3 = 66 \text{ »}$$

$$Q_2 = \frac{q_2 l_2}{2} \text{ и } Q_3 = \frac{q_3 l_2}{2}.$$

Схема 2. Постоянная нагрузка + неравномерный снег + ветер слева:

$$q_1 = 750 \text{ кг}$$

$$q_2 = 238 \text{ »}$$

$$q_3 = 66 \text{ »}$$

$$Q_2 = \frac{q_2 l_2}{2} \text{ и } Q_3 = \frac{q_3 l_2}{2}.$$

При нагружении по схеме 2 достигает расчетного значения только поперечная сила в шарнире S.

б) Вычисление основных расчетных величин

Вертикальная составляющая опорной реакции:

$$V_D = \frac{q_1 l_1}{2} + \frac{q_3 l_2}{4l} (3l_1 - l_2) + \frac{3q_2 l_2^2}{4l} =$$

$$= \frac{990 \cdot 7,86}{2} + \frac{66 \cdot 4,54}{4 \cdot 12,4} \cdot (3 \cdot 7,86 - 4,54) +$$

$$+ \frac{3 \cdot 192 \cdot 4,54^2}{4 \cdot 12,4} = 4246 \text{ кг.}$$

Горизонтальная составляющая опорной реакции:

$$H_D = 2f \left[ V_D \cdot l - \frac{q_1 l_1}{4} - \right.$$

$$\left. - q_3 l_2 \left( l_2 + 3 \frac{l_1}{2} \frac{\sin(30^\circ - \beta)}{\cos \beta} \right) \right] =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 2,48} \left[ 4246 \cdot 12,4 - \frac{990 \cdot 7,86^2}{4} - \right.$$

$$\left. - 66 \cdot 4,54 \cdot \left( 4,54 + \frac{3}{2} \cdot 7,86 \cdot \frac{0,166}{0,936} \right) \right] = 7200 \text{ кг.}$$

Горизонтальная составляющая усилий в правой половине арки:

$$H^{(прав)} = -\frac{l_2}{2H_D} (1,73H_D + q_3 l_2 - V_D) = -\frac{4,54}{2 \cdot 2,35} \times$$

$$\times (1,73 \cdot 7200 + 66 \cdot 4,54 - 4246) = -8210 \text{ кг.}$$

Усилия в арке:

Наибольшее (в крайней панели у опоры D):

$$N_1 = \frac{H^{(прав)}}{\cos \alpha} = \frac{-8210}{0,758} = -10850 \text{ кг;}$$

в третьей панели от опоры D:

$$N_3 = -\frac{8210}{0,872} = -9400 \text{ кг.}$$

Усилия в стойках, вычисленные по формуле:

$$V_n = H^{(прав)} (\operatorname{tg} \alpha_n - \operatorname{tg} \alpha_{n+1})$$

приведены в табл. 5.

Таблица 5

| № стоек | H(прав) | tg α <sub>n</sub> | tg α <sub>n+1</sub> | V <sub>n</sub> в кг |
|---------|---------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 1       | 8210    | 0,857             | 0,680               | 1455                |
| 2       | 8210    | 0,680             | 0,560               | 985                 |
| 3       | 8210    | 0,560             | 0,408               | 1165                |
| 4       | 8210    | 0,408             | 0,296               | 1090                |
| 5       | 8210    | 0,296             | 0,1735              | 1010                |
| 6       | 8210    | 0,1735            | 0,0505              | 1010                |

Нормальные усилия в ноге. В опорной панели:

$$N_1 = -0,5H_D - 0,866V_D - H^{(прав)} \frac{\cos(60^\circ - \alpha)}{\cos \alpha} =$$

$$= -0,5 \cdot 7200 - 0,866 \cdot 4246 + 8210 \cdot \frac{0,942}{0,758} =$$

$$= 2920 \text{ кг.}$$

В верхней панели:

$$N_3 = -0,5 \cdot 7200 - 0,866 \cdot 4246 +$$

$$+ 8210 \frac{0,858}{0,872} = 800 \text{ кг.}$$

Нормальные силы в ригеле жесткого пояса. В точке C:

$$N_C = V_D \sin \beta - H_D \cdot \cos \beta -$$

$$- q_3 l_2 [0,5 + \cos(30^\circ - \beta)] - q_1 x \sin \beta -$$

$$- H^{(прав)} \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \alpha} = 4246 \cdot 0,349 -$$

$$- 7200 \cdot 0,936 - 66 \cdot 4,54 (0,5 + 0,985) +$$

$$+ 9210 \cdot \frac{0,735}{0,922} = 850 \text{ кг.}$$

В точке S:

$$N_S = 4246 \cdot 0,349 - 7200 \cdot 0,936 -$$

$$- 66 \cdot 4,54 (0,5 + 0,985) - 990 \cdot 3,93 \cdot 0,349 +$$

$$+ 8210 = \frac{0,918}{0,998} = 500 \text{ кг.}$$

Расчетный изгибающий момент в ноге у стойки I (фиг. 51):

$$M_1 = \frac{q_3 l_2^2}{9} - (V_1 + 0,5V_2) \frac{l_2}{9} = \frac{66 \cdot 4,54^2}{9} -$$

$$- (1455 + 0,5 \cdot 985) \cdot \frac{4,54}{9} = -831 \text{ кгм.}$$

Расчетный изгибающий момент в ригеле у стойки 5 (фиг. 51):

$$M_5 = \frac{1}{32} q_1 l_1^2 - (V_4 + 2V_5 + V_6) \frac{1}{16} l_1 =$$

$$= \frac{1}{32} \cdot 990 \cdot 7,86^2 - (1090 +$$

$$+ 2 \cdot 1010 + 1010) \frac{1}{16} \cdot 7,86 = -110 \text{ кгм.}$$

Поперечные силы в концевых сечениях ноги:

$$Q_D = -\frac{q_3 l_2}{2} + \frac{2V_1 + V_2}{6} = -\frac{66 \cdot 4,54}{2} + \frac{2 \cdot 910 + 985}{6} = 498 \text{ кг};$$

$$Q_C = \frac{q_3 l_2}{2} - \frac{V_1 + 2V_2}{6} = \frac{66 \cdot 4,54}{2} - \frac{1 \cdot 455 + 1 \cdot 970}{6} = -420 \text{ кг}.$$

Поперечные силы в концевых сечениях ригеля:

$$Q_S = \left( \frac{q_1 l_1}{4} - \frac{3V_1 + 2V_2 + V_3}{4} \right) \cos \beta =$$

$$= \left( \frac{990 \cdot 7,86}{4} - \frac{3 \cdot 1 \cdot 010 + 2 \cdot 1 \cdot 010 + 1 \cdot 090}{4} \right) \times$$

$$\times 0,936 = 380 \text{ кг};$$

$$Q_C = \left( -\frac{q_1 l_1}{4} + \frac{3V_4 + 2V_5 + V_6}{4} \right) \cos \beta =$$

$$= \left( -\frac{990 \cdot 7,86}{4} + \frac{3 \cdot 1 \cdot 090 + 2 \cdot 1 \cdot 010 + 1 \cdot 010}{4} \right) \times$$

$$\times 0,936 = -346 \text{ кг}.$$

в) Подбор сечений

Арка. Нормальное усилие в первой панели:

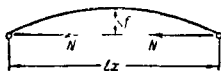
$$N_1 = -10 \ 850 \text{ кг}.$$

Нормальное усилие в третьей панели:

$$N_3 = -9 \ 400 \text{ кг}.$$

Радиус кривизны  $R = 399 \text{ см}$ .

Длина хорды  $l_x = 77 \cdot \frac{1}{6,753} = 101 \text{ см}$  (фиг. 55).



Фиг. 55. Расчетная схема панели арки

$$\text{Стрелка } f = \frac{l_x^2}{8R} = \frac{101^2}{8 \cdot 399} = 1,42 \text{ см}.$$

Изгибающий момент в крайней панели припиаем равным (в запас прочности):

$$M = Nf = 10 \ 850 \cdot 1,42 = 15 \ 400 \text{ кгсм}.$$

Свободная длина арки при продольном изгибе в плоскости конструкции:

$$l_y = 686 \text{ см}.$$

Принимаем сечение по фиг. 49, а размерами  $h = 12,0 \text{ см}; a = 6,0 \text{ см}; c = 6,0 \text{ см}; b = 12,0 \text{ см};$

$$F_{\text{брутто}} = 288 \text{ см}^2.$$

$$I_y = \left[ \frac{12 \cdot 36^3}{12} - 2 \left( \frac{6^3 \cdot 12}{12} + 6 \cdot 12 \cdot 9^2 \right) \right] \frac{1}{1,10 \cdot 1,03} =$$

$$= 30 \ 400 \text{ см}^4;$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I}{F}} = \sqrt{\frac{30 \ 400}{288}} = 10,3 \text{ см};$$

$$\frac{l_y}{r_y} = \frac{686}{10,3} = 66,5;$$

$$\varphi_y = 0,54; \quad W_x = \frac{2,4 \cdot 12^2}{6 \cdot 1,1 \cdot 1,03} = 508 \text{ см}^3;$$

напряжение:

$$n_- = \frac{N_3}{\varphi F} + \frac{M}{W} \cdot \frac{[n_-]}{[n_+]} = \frac{9 \ 400}{0,54 \cdot 288} +$$

$$+ \frac{15 \ 400}{508} \cdot \frac{100}{110} = 60,3 + 27,5 = 87,8 < 90 \text{ кг/см}^2.$$

По новейшим исследованиям<sup>1</sup> при продольном изгибе составных стержней с податливыми связями жесткость сечения характеризуется моментом инерции  $I$ , определяемым по формуле:

$$I = \varphi I_0,$$

где  $I_0$  — момент инерции монолитного сечения;

$\varphi$  — коэффициент жесткости стержня.

Коэффициент  $\varphi$  определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{c + \pi^2}{c + \pi^2},$$

где  $c$  — коэффициент спайности швов, в данном случае:

$$c = \frac{elmT_N}{ES\delta_n}; \quad (a)$$

$a$  — отношение суммы моментов инерции отдельных ветвей к полному моменту инерции всего сечения, в данном случае:

$$a = \frac{2I_{кр} + I_{ср}}{I_0}. \quad (б)$$

В формуле (а):

$T_N$  — допускаемое усилие на один срез нагеля;

$\delta_n$  — соответствующий этому усилию сдвиг в шве, получаемый из опытных данных;

$e$  — половина расстояния между центрами соседних ветвей сечения;

$l$  — полная длина стержня;

$m$  — число срезов нагелей в шве на полной длине  $l$  стержня;

$S$  — статический момент крайней ветви сечения относительно оси  $x$ ;

$E$  — модуль упругости дерева.

В данном случае:  $e = 7,5 \text{ см}; l = 686 \text{ см}; m = 137;$

$T_N = 87 \text{ кг}; \delta_n = 0,05 \text{ см}; S_x = 6 \cdot 12 \cdot 15 = 1 \ 080 \text{ см}^3;$

$E = 100 \ 000 \text{ кг/см}^2.$

$$a = \frac{2 \cdot 216 + 1 \ 730}{34 \ 500} = 0,0625;$$

$$c = \frac{7,5 \cdot 686 \cdot 137 \cdot 87}{100 \ 000 \cdot 1 \ 080 \cdot 0,05} = 11,4;$$

$$\varphi = \frac{11,4 + 9,87 \cdot 0,0625}{11,4 + 9,87} = 0,565;$$

$$r = \sqrt{\frac{0,565 \cdot 34 \ 500}{288}} = 8,23 \text{ см};$$

$$\lambda = \frac{686}{8,23} = 83,3; \quad \varphi_y = 0,41.$$

Расчетное напряжение:

$$n_- = \frac{9 \ 450}{288 \cdot 0,41} = 80,0 < 90 \text{ кг/см}^2.$$

В данном случае при малых величинах  $\varphi_y$  небольшие местные моменты, действующие в плоскости, перпендикулярной к плоскости продольного изгиба стержня, не влияют на величину критической силы  $P_{кр}$  при продольном изгибе и потому могут не учитываться.

Нога жесткого пояса.  $N = 2 \ 940 \text{ кг};$

$$M = -83 \ 100 \text{ кгсм}.$$

Принимаем сечение по фиг. 50, а размерами:

$$h = 24 \text{ см}; b = 6 \text{ см}; e = 12 \text{ см}.$$

$$F_{\text{нетто}} = 0,85 \cdot 24 \cdot 12 = 245 \text{ см}^2;$$

$$W_x = \frac{12 \cdot 24^2}{6} = 1 \ 152 \text{ см}^3.$$

Напряжение:

$$n_+ = \frac{N}{F_{\text{нетто}}} + \frac{M}{W_{\text{нетто}}} = \frac{2 \ 940}{245} +$$

$$+ \frac{83 \ 100}{1 \ 152} = 11,9 + 72,1 = 84 < 90 \text{ кг/см}^2.$$

Ригель жесткого пояса. По конструктивным соображениям принимаем сечение ригеля  $12 \times 22 \text{ см}.$

<sup>1</sup> В. Г. Писчиков, Поперечный и продольный изгиб составных стержней, «Проект и стандарт» № 2 и 9, 1925 г.



Таблица 5

Изгибающие моменты в сечениях ног и ригеля

| № сечения | $x$  | № схемы загрузки | $\frac{M_C \cdot x}{l_2}$ | $\frac{q_3 \cdot (l_2 - x)}{2}$ | $M_x$<br>в кгм | № точек | $y$  | № схемы загрузки | $\frac{M_C \cdot y}{0,5 l_1}$ | $\frac{q_1 \cdot y (0,5 l_1 - y)}{2}$ | $M_y$<br>в кгм |
|-----------|------|------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------|---------|------|------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| 1         | 1,10 | 1                | - 1 401                   | + 254                           | - 1 147        | 6       | 0,95 | 1                | - 1401                        | + 1 390                               | - 61           |
|           |      | 2                | - 625                     | + 590                           | - 35           |         |      | 2                | - 625                         | + 1 015                               | + 390          |
| 2         | 2,20 | 1                | - 2 802                   | + 339                           | - 2 463        | 5       | 1,90 | 1                | - 2 802                       | + 1 785                               | - 1 017        |
|           |      | 2                | - 1 250                   | + 785                           | + 465          |         |      | 2                | - 1 250                       | + 1 353                               | + 103          |
| 3         | 3,30 | 1                | - 4 203                   | + 254                           | - 3 949        | 4       | 2,85 | 1                | - 4 203                       | + 1 340                               | - 2 863        |
|           |      | 2                | - 1 875                   | + 590                           | - 1 285        |         |      | 2                | - 1 875                       | + 1 015                               | - 860          |

Стойки. Наибольшее напряжение возникает, очевидно, в стойке 3:

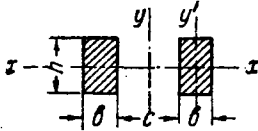
$$N = 1\,165 \text{ кг}; l_y = 235 \text{ см.}$$

Принимаем сечение стойки по фиг. 56 размерами  $h = 10 \text{ см}; b = 6 \text{ см};$

$$r_y = 1,73 \text{ см}; \frac{l_y}{r_y} = \frac{235}{1,73} = 136; \varphi_y = 0,10.$$

Напряжение:

$$n_{-} = \frac{N}{F_{\varphi_y}} = \frac{1\,165}{120 \cdot 0,16} = 61,0 < 90 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 56. Сечение стойки

Связей (прокладок) по расчету не требуется.

Опорный узел (фиг. 58). Усилие в ноге:

$$N_n = 2\,920 \text{ кг};$$

поперечная сила в концевом сечении ноги:

$$Q_n = 498 \text{ кг.}$$

Равнодействующая сил  $Q_n$  и  $N_n$ :

$$R = \sqrt{2\,920^2 + 498^2} = 2\,960 \text{ кг.}$$

Усилие в арке  $N = 10\,850 \text{ кг.}$

Расчетный распор  $H_D = 7\,200 \text{ кг.}$

Нога соединяется с аркой одним болтом  $\varnothing 12$  и гвоздями  $\varnothing 5,5$ ,  $l = 175 \text{ мм.}$

Допускаемое усилие на один срез болта при  $\alpha = 20^\circ$ :

$$T_b = 0,5 \cdot 1,2^2 \sqrt{1\,400 \cdot 66,5} = 220 \text{ кг.}$$

Допускаемое усилие на один срез гвоздя:

$$T_w = 0,8 \cdot 0,55^2 \sqrt{1\,800 \cdot 72} = 87 \text{ кг.}$$

Необходимое число двусрезных гвоздей:

$$m = \frac{N_n - 4T_b}{2T_w} = \frac{2\,960 - 880}{174} = 12 \text{ шт.}$$

Шайба затяжки выполняется из швеллера № 12.

Смятие вкладыша под шайбой:

$$n_{ш} = \frac{N}{F} = \frac{7\,200}{12 \cdot 24} = 25 \text{ кг/см}^2.$$

Смятие вкладыша аркой:

$$n_c = \frac{10\,850}{24 \cdot 12} = 37,6 \approx 37 \text{ кг/см}^2.$$

Вариант опорного узла для рамы без затяжки представлен на фиг. 59.

Сечение затяжки — два стержня  $\varnothing 22 \text{ мм.}$  В месте нарезки концы стержней осаживаются до  $\varnothing 25 \text{ мм}$  (фиг. 66):

$$F_{\text{нетто}} = 3,57 \cdot 2 = 7,14 \text{ см}^2;$$

$$n_{+} = \frac{N}{F_{\text{нетто}}} = \frac{7\,200}{7,14} = 1\,010 < 1\,100 \text{ кг/см}^2.$$

Узел жесткого пояса. В узле В ригель и нога соединяются одним болтом  $\varnothing 12$  и гвоздями  $\varnothing 5,5$ ,  $l = 125 \text{ мм}$  (фиг. 60).

Допускаемые усилия на один срез:

$$T_w = 87 \text{ кг}; T_b = 0,5 \cdot 1,2^2 \sqrt{1\,400 \cdot 40,5} = 171 \text{ кг.}$$

Нормальное усилие в ноге  $N = 800 \text{ кг.}$

Поперечная сила в концевом сечении ноги:

$$Q = 420 \text{ кг.}$$

Равнодействующая:

$$R_n = \sqrt{N^2 + Q^2} = 905 \text{ кг.}$$

Необходимое число односрезных гвоздей:

$$n = \frac{905 - 171 \cdot 2}{87} = 7 \text{ шт.}$$

Сопряжения стоек с аркой и жестким поясом. Сопряжения стоек разделены в расчете на два типа:

тип I — для стоек 1, 2 и 3;

» II — » » 4, 5 » 6.

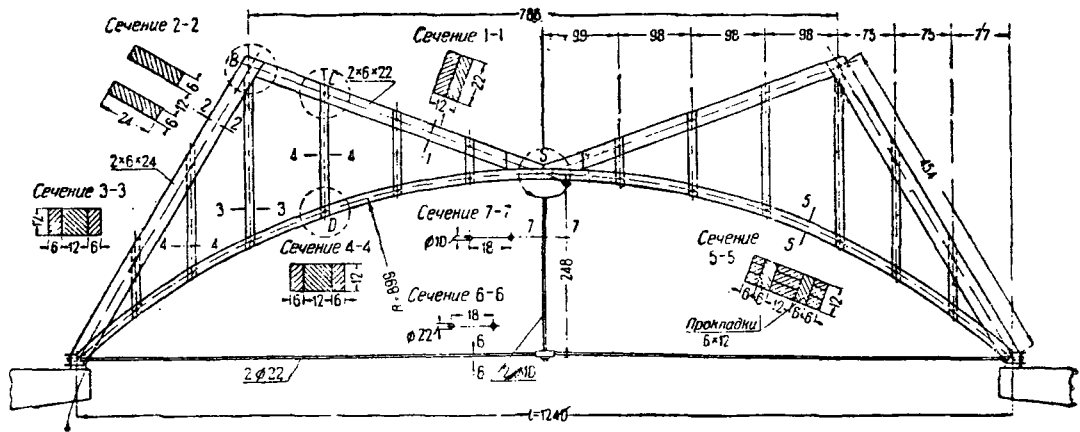
Сопряжения типа I (фиг. 62). В месте сопряжения стоек с аркой нормальное усилие в стойке  $N$  разлагаем на составляющие:  $N'$  — нормальную к оси арки, воспринимаемую торцевым упором среднего элемента стойки, и  $N''$  — касательную к оси арки, передаваемую на нагельное соединение узла через внешние элементы стойки.

Усилие в стойке  $N = 1\,455 \text{ кг.}$

Усилие  $N'' = N \sin 37^\circ = 1\,455 \cdot 0,602 = 877 \text{ кг.}$

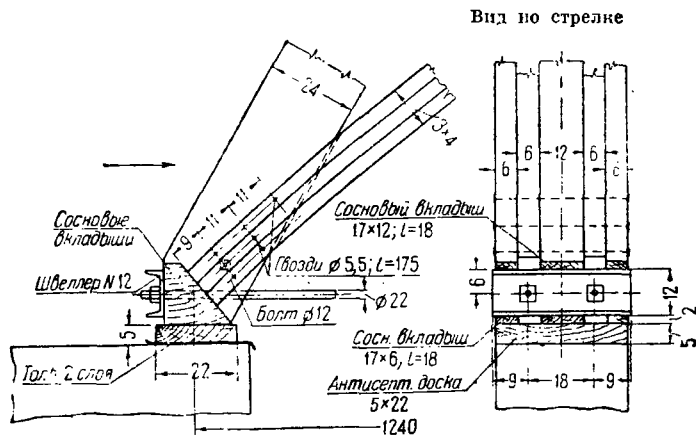
Допускаемое усилие на четырехсрезный болт  $\varnothing 12 \text{ мм.}$

$$T_b = 4 \cdot 0,5 \cdot 1,2^2 \sqrt{1\,400 \cdot 55,8} = 4 \cdot 202 = 808 < 872 \text{ кг.}$$

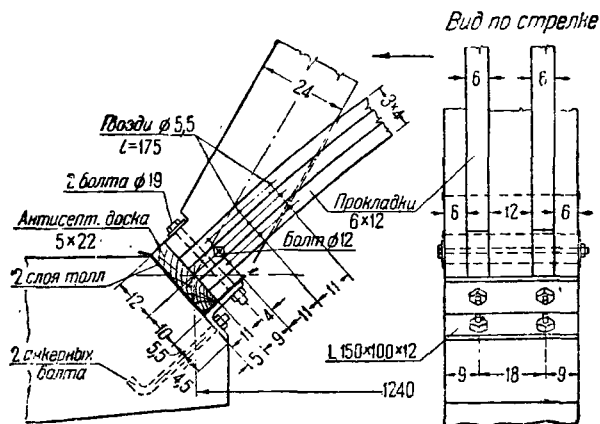


Объем дерева — 1,54 м<sup>3</sup>. Вес стали с затяжкой — 142 кг.  
 Вес стали без затяжки — 67 кг

Фиг. 57. Рама с криволинейным поясом пролетом  $l = 12,4$  м. Общий вид



Фиг. 58. Опорный узел рамы с затяжкой



Фиг. 59. Опорный узел рамы без затяжки





при поперечном изгибе:

$$T_0^{l/2} = \frac{QS}{I} \cdot \frac{l}{4} = \frac{MS}{I} = \frac{15400 \cdot 384}{3460} = 1710 \text{ кг},$$

или на 1 м арки:

$$T_x' = \frac{1710 \cdot 2}{1,01} = 3390 \text{ кг};$$

при продольном изгибе относительно оси  $x-x$ :

$$T_0^{l/2} = k \frac{S}{z} \cdot \frac{[n_u]}{[n_x]} \left( \frac{1}{\varphi_x} - 1 \right) \frac{N}{F} = 1,03 \frac{364}{6} \times \\ \times \frac{110}{100} \left( \frac{1}{0,8} - 1 \right) \cdot \frac{10850}{288} = 680 \text{ кг},$$

или на 1 м арки:

$$T_x'' = \frac{680 \cdot 2}{1,01} = 1350 \text{ кг}.$$

Сдвигающее усилие на одной четверти полной длины арки по вертикальному шву в трех крайних брусках при продольном изгибе относительно оси  $y-y$ :

$$T_0^{l/2} = k \frac{S}{z} \cdot \frac{n_y}{n_x} \left( \frac{1}{\varphi_y} - 1 \right) \frac{N}{F} = \\ = 1,08 \cdot \frac{1080}{18} \cdot \frac{110}{100} \left( \frac{1}{0,54} - 1 \right) \cdot \frac{9400}{288} = 1980 \text{ кг},$$

или на 1 м арки:

$$T_y = \frac{1980 \cdot 1}{13,72} = 576 \text{ кг/м}.$$

Горизонтальные гвозди  $\varnothing 5,5$ ,  $l = 175$  мм ставятся в максимальном количестве. При шаге  $a = 41$  мм, учитывая пропуски в узлах, получим число гвоздей на 1 м бруска  $m = 7$  шт., а на все сечение  $7 \cdot 3 \cdot 2 = 42$  шт.

Допускаемое усилие на один срез гвоздя  $T_{гв} = 87$  кг. Необходимое число горизонтальных гвоздей на 1 м бруска по усилию  $T_y$ :

$$m_y = \frac{576}{3 \cdot 87} = 2,2 < 7 \text{ шт.}$$

Вертикальные гвозди приняты  $\varnothing 4$ ,  $l = 116$  мм:

$$T_{гв} = 46 \text{ кг}.$$

По усилиям  $T_x'$  и  $T_x''$ , учитывая горизонтальный забой, получим необходимое число вертикальных гвоздей на 1 м длины арки:

$$m_x = \frac{3390 + 1350}{40} - 7 \cdot 2 = \frac{4740}{40} - 14 = 50 \text{ шт.}$$

## 5. Рамы двутаврового сечения с дощатой или фанерной стенкой

### 1) Схемы

Рамы двутаврового сечения целесообразны при пролетах от 12,0 м и выше. При меньших пролетах двутавровое сечение обычно технически не оправдывается.

Наиболее рациональные схемы рам двутаврового сечения представлены на фиг. 67, а, б, в. Выбор схемы в основном зависит от:

- характера нагрузки;
- типа водоотвода;
- условий транспортирования и монтажа конструкции.

При выборе типа стенки следует учитывать условия производства работ и эксплуатации конструкции. Так, при неблагоприятном влажностном режиме от применения фанерной стенки следует воздерживаться.

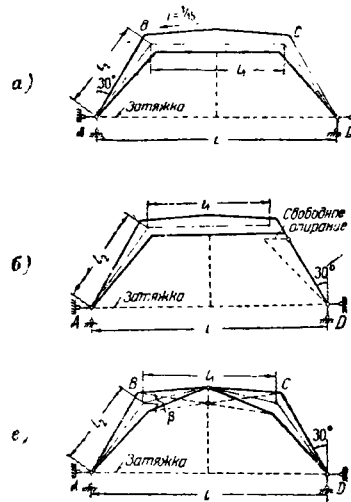
### а) Характер нагрузок

При выборе схемы рамы решающее значение имеет величина изгибающего момента в узлах  $B$  и  $C$ , так как сопряжение элементов под углом встречает наибольшие трудности.

В зависимости от преобладающей нагрузки (симметричная или односторонняя) угол конструируется наиболее удачно при различных статических схемах рамы.

Высота сечения рамы обычно определяется величиной узлового момента.

Для предварительного вычисления узлового момента  $M_C$  в рамах различных схем можно пользоваться графиками фиг. 68. Графики даны для нагрузок  $q_1$  и  $q_2$ , к которым с достаточной точностью можно привести все действующие на раму внешние нагрузки.



Фиг. 67. Схемы рам двутаврового сечения

В двухшарнирной раме отношение моментов инерции ригеля  $I_1$  и ноги  $I_2$  принято  $I_1 : I_2 = 3$  как наиболее часто встречающееся в практике. Числовые значения коэффициентов при  $ql^2$  даны увеличенными в 100 раз.

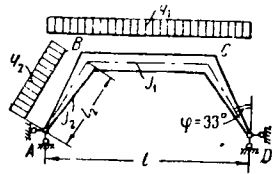
В трехшарнирной симметричной раме со смещенным шарниром момент  $M_C$  (фиг. 68) вызывается ветровой и односторонней снеговой нагрузками; при симметричном же нагружении  $M_C = 0$ . При этом узловой момент может иметь как положительное, так и равное ему по величине отрицательное значение.

В двухшарнирной раме при малых отношениях  $\frac{l_2}{l}$  (фиг. 67.а) основная часть узлового момента  $M_C$  обычно обуславливается симметричной (вертикальной) нагрузкой и момент имеет в большинстве случаев только отрицательное значение.

Двухшарнирная схема рациональна поэтому при относительно малых снеговых нагрузках. При значительной же снеговой и малой ветровой нагрузках выгоднее трехшарнирная схема со смещенным шарниром.

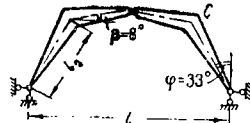
Для иллюстрации пользования графиками (фиг. 68) ниже приводится пример определения узловых моментов  $M_C$  в обеих рассмотренных схемах.

Графики для определения момента  $M_C$  в рамах различных типов

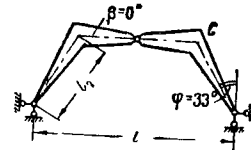


$$I_1 : I_2 = 3$$

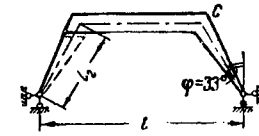
$$M_C = (-\alpha_1 q_1 - \alpha_2 q_2) l^3$$



$$M_C = (-\beta_1 P_1 - \beta_2 P_2) l^3$$



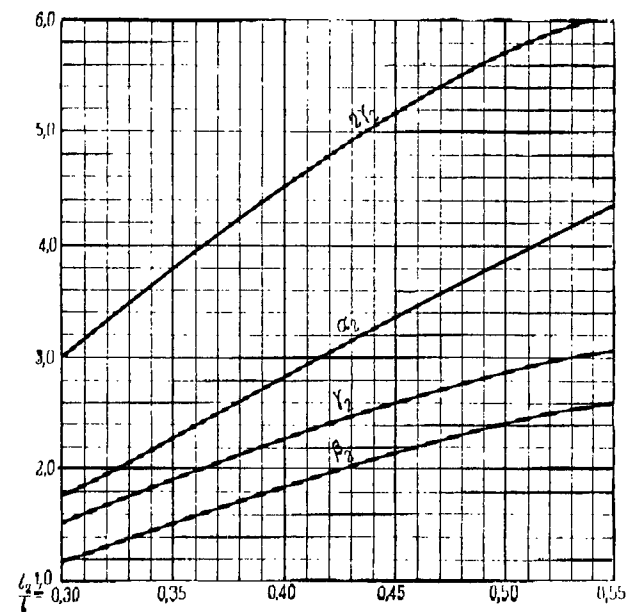
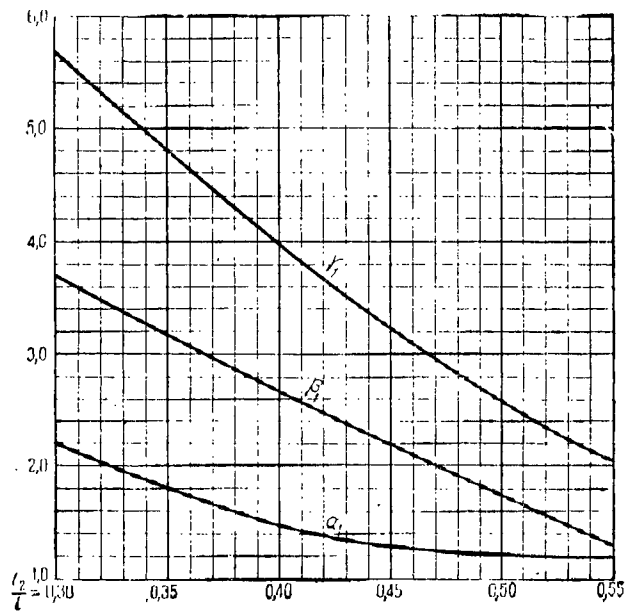
$$M_C = (-\gamma_1 P_1 - \gamma_2 P_2) l^3$$



$$M_C = -2\gamma_2 P_2 l^3$$

$M_C$  — момент в узле C в кжм

$q_1$  — равномерная нагрузка в кг на 1 м горизонтальной проекции;  
 $q_2$  — равномерная нагрузка в кг на 1 м ноги, нормальная к ее оси;  
 $l$  — расчетный пролет рамы в м.



Фиг. 68

Трехшарнирная симметричная рама (фиг. 67, в) обычно имеет наибольшие узловые моменты, однако необходимое развитие узлового сечения в этой схеме меньше отражается на экономических показателях конструкции, чем в предыдущих двух. Отметим, что при увеличении угла  $\beta$  наклона ригеля (фиг. 67, в, жирные линии) узловые моменты значительно падают (ср. коэффициенты  $\beta$  и  $\gamma$  на фиг. 68).

**Пример.** Требуется сравнить величины узловых моментов в рамах, изображенных на фиг. 67, а и б. Принятые размеры:  $l = 12,0 \text{ м}$ ;  $l_2 = 0,5$ .

**Нагрузки.** Наибольшая вертикальная нагрузка  $q_1 = 800 \text{ кг/м}$ , боковая нагрузка на двухшарнирной раме (ветер)  $q_2 = 420 \text{ кг/м}$ . Наибольшая боковая нагрузка на трехшарнирной раме (с учетом несимметричного снегового загромождения)  $q_2' = 420 + 60 = 480 \text{ кг/м}$ . Для двухшарнирной рамы:

$$M_C = (-\alpha_1 q_1 - \alpha_2 q_2) l^2 = (-1,20 \cdot 800 - 3,88 \cdot 420) \cdot 12,0^2 = -373 \text{ 000 кгс.м.}$$

Для трехшарнирной рамы со смещенным шарниром:

$$M_C = \pm 2\gamma q_2 l^2 = \pm 5,68 \cdot 480 \cdot 12,0^2 = \pm 393 \text{ 000 кгс.м.}$$

Из двух рассмотренных в примере схем, очевидно, следует отдать предпочтение первой, так как в трехшарнирной схеме большой положительный момент  $M_C$  усложняет проектирование узла С и требует излишнего развития сечений рамы.

Недостатком трехшарнирной схемы со смещенным шарниром является также необходимость декоративного элемента в ноге рамы для придания конструкции внешней симметрии (фиг. 67, б).

**б) Водоотвод**

При отводе воды внутрь (вогнутая кровля) наиболее целесообразна симметричная трехшарнирная схема рамы (фиг. 67, в, пунктир), так как в других схемах (фиг. 67, а и б) вогнутый профиль требует для придания уклона кровле дополнительного устройства, приводящего к громоздкой конструкции.

**в) Условия транспортирования**

Выбор схемы определяется размерами отдельных частей и удобством их перевозки. Если рама изготавливается непосредственно на строительной площадке, то на выбор ее схемы могут влиять только условия ее монтажа. Проще всего монтируются двухшарнирные рамы.

Трехшарнирные рамы требуют предварительного соединения в ключе до установки и правильного крепления при подъеме.

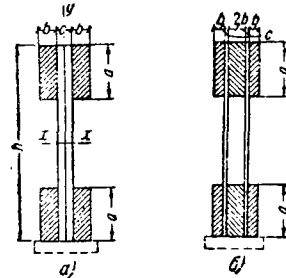
**2) Конструкция**

Для рам с фанерной стенкой целесообразны трехветвевые пояса (фиг. 69, б), для рам с перекрестной стенкой — двухветвевые (фиг. 69, а).

В обоих случаях при выборе размерной поясных досок нужно учитывать возможность размещения нагельных соединений в угловых сопряжениях и назначать отношение  $\frac{b}{a}$  не более  $\frac{1}{3} - \frac{1}{4}$ .

Нижний пояс рамы, работающий на продольный изгиб при значительной свободной длине

это, целесообразно усиливать дополнительной горизонтальной доской (фиг. 69, а и б), уменьшающей влияние сдвигов в нагельных соединениях на устойчивость пояса и сообщающей ему необходимую жесткость.

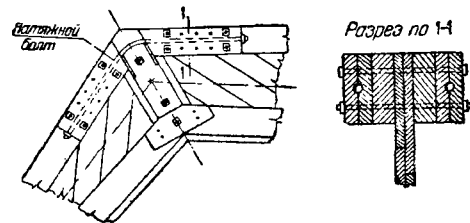


Фиг. 69. Типы сечений

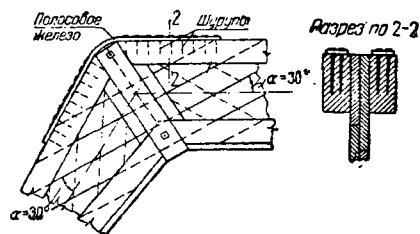
Доски перекрестной стенки располагаются под углом  $\alpha = 45^\circ$  или  $30^\circ$  к оси элемента. При проверке гвоздевого забоя на усилия в раскосах стенки расчетными силами на 1 м пояса соответственно будут:

$$\frac{T}{\sqrt{2}} \text{ и } \frac{T}{1,5},$$

где  $T$  — сдвигающая сила на 1 м пояса. При расположении раскосов стенки под углом  $\alpha = 30^\circ$  размещение гвоздевых соединений несколько облегчается. Такое расположение имеет также то преимущество, что один из слоев стенки про-



Фиг. 70. Узел на натяжных болтах



Фиг. 71. Узел на железных накладках

ходит неразрывно через угол рамы (фиг. 71), благодаря чему угол рамы может воспринять некоторый положительный момент, зачастую возникающий в угле при монтаже рамы. В рамах с досчатой стенкой угол конструкции строится по одному из вариантов, приведенных на фиг. 70, 71 и 77.

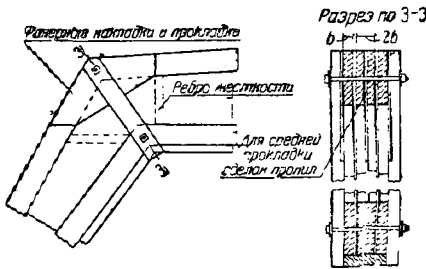
На фиг. 77 пояса рамы соединяются в углу деревянными прокладками и накладками на болтовых или гвоздевых нагелях. В зависимости от конструктивных возможностей один или оба

слоя дощатой стенки имеют разрез по линии  $a-a$  и прикрепляются к ребровым прокладкам расчетным количеством гвоздей.

Если из условия размещения нагелей деревянные прокладки должны иметь значительную длину, дощатая стенка в углу рамы выключается из работы. В этом случае рационально перейти к типу II (фиг. 70) соединения поясов на натяжных болтах, закладываемых в двойные накладки поясов.

В месте пересечения осей поясов натяжной болт выгибается по дуге окружности и плотно прилегает к металлическому наконечнику угловой стойки. Составляющая усилия натяжного болта, направленная по оси стойки, передается через ее торец на нижний пояс рамы.

Во избежание раскрытия узла в нижнем поясе окончательную натяжку болтов следует производить после установки рамы.



Фиг. 72. Узел в раме с фанерной стенкой

Сопряжение элементов верхнего пояса в угле может быть выполнено также на металлических накладках, прикрепляемых к верхней кромке пояса шурупами  $d = 8-10$  мм (фиг. 71). В этом случае для укорочения длины накладок доски поясов должны быть максимально возможной толщины.

Фанерная стенка в раме конструируется совершенно так же, как и в обычной двутавровой балке<sup>1</sup>.

Сопряжение поясов в углах обычно выполняется на фанерных прокладках и накладках (фиг. 72), причем благодаря большой прочности элементов рамы используются все выгоды многосрезных соединений.

Для обеспечения жесткости рамы при монтаже или восприимчивости углов положительным изгибающим моментам часть элементов нижнего пояса рамы желательно соединять в угле путем их перепуска.

### 3) Особенности расчета

В двухшарнирной статически неопределимой раме следует учитывать возможность смещений в нагелях соединений узлов  $B$  и  $C$  (фиг. 67, а).

В общем случае раму следует рассчитывать по двум схемам:

- 1) без учета сдвигов в узлах  $B$  и  $C$
- 2) с учетом сдвигов в этих узлах.

Схема 1 дает расчетные величины угловых моментов; в относительно низких рамах ( $\frac{h_0}{l} \leq 0,45$ ) при этой же схеме получается расчетный отрицательный момент в ноге.

<sup>1</sup> См. «Балки двутаврового сечения с фанерной стенкой».

Схема 2 дает наибольший положительный момент в сечении ригеля по середине пролета. Если принять, что ось ригеля в жестких узлах  $B$  и  $C$  получит дополнительный угол поворота  $\varphi_d$  вследствие сдвигов в соединениях, то соответствующий сдвигу момент в середине пролета определится по формуле:

$$M_d = \frac{2E \cdot I_1}{h} \cdot \varphi_d \quad (25)$$

Ригель рамы с выгнутым двускатным профилем при угле наклона верхнего пояса в  $\frac{1}{10}-\frac{1}{16}$  (фиг. 67, а) конструктивно получает в середине пролета сечение достаточной высоты и обычно не требует поверки на дополнительные моменты от сдвигов в жестких узлах.

Расчет двухшарнирной рамы может быть произведен с помощью табл. 1 (см. выше). Момент инерции ноги может быть взят на высоте  $\frac{2}{3} h$  от опорного шарнира.

Если ось ноги имеет обычный угол наклона к вертикали  $\varphi \approx 33^\circ$ , угловой момент  $M_C$  определяется непосредственно из графика фиг. 68.

При относительно низких рамах ( $\frac{h_0}{l} \leq 0,45$ ) замена всех действующих на раму нагрузок нагрузками  $q_1$  и  $q_2$ , принятыми в графиках, практически не влияет на точность расчета.

Расчет трехшарнирной рамы приведен в примере проектирования. Для определения моментов  $M_C$  можно также пользоваться графиками (фиг. 68).

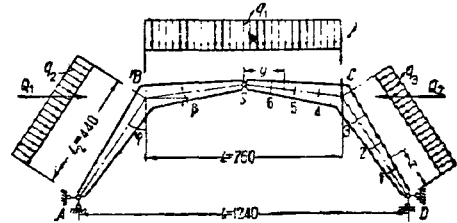
### 4) Проект трехшарнирной рамы

а) Схема конструкции и нагрузки (фиг. 73)

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= 0,648; \varphi = 33^\circ; \sin \varphi = 0,545; \cos \varphi = 0,838; \\ \operatorname{tg} \beta &= 0,4315; \beta = 7^\circ 30'; \sin \beta = 0,1305; \\ \cos \beta &= 0,989. \end{aligned}$$

Рамы устанавливаются через 6,0 м.

В серединах между рамами располагаются наклонные импосты.



Фиг. 73. Расчетная схема

Внешний пояс ног рамы раскрепляется горизонтальными импостами, расположенными через 1,8 м, внутренний пояс имеет продольную связь в узлах  $B$  и  $C$  (фиг. 81).

В рассматриваемом примере уклон кровли незначителен ( $i = \frac{1}{15}$ ); поэтому при учете влияния на раму промежуточных импостов можно считать, что при симметричных нагрузках опорные реакции их в точках  $B$  и  $C$  взаимно погашаются в кровле и не влияют на работу рамы. При односторонней нагрузке действие на раму промежуточных импостов выразится



горизонтальной силой  $Q_1$ , приложенной в точке В. В расчете приняты следующие величины основных нагрузок в килограммах на 1 м горизонтальной проекции:

- 1) постоянные  $g_1 = 510$ ;  $g_2 = g_3 = 240$ ;
- 2) равномерный снег  $p_1 = 480$ ;  $p_2 = p_3 = 240$  кг/м;
- 3) неравномерный снег  $p_1' = 240$ ;  $p_2' = 425$ ;  $p_3' = 240$  кг/м и
- 4) ветер  $w_2 = 3 \cdot 30 \cdot 1,4 = 126$  кг на 1 пог. м ноги.

В дальнейшем действующие на ноги вертикальные нагрузки разлагаем на нормальные и параллельные оси ноги. Последние вследствие малого влияния их на напряжения в расчете не учитываются. Невыгоднейшие схемы загрузки для правой части рамы получим в следующем виде (фиг. 73).

Схема 1. Постоянная нагрузка + ветер слева + равномерный снег:

$$q_1 = g_1 + p_1 = 510 + 480 = 990 \text{ кг};$$

$$q_2 = (g_2 + p_2) \sin^2 \varphi + w_2 = (240 + 240) \times 0,297 + 126 = 270 \text{ кг};$$

$$q_3 = (g_3 + p_3) \sin^2 \varphi = (240 + 240) \cdot 0,297 = 140 \text{ кг};$$

$$Q_1 = \frac{w_2 l_2}{2 \cos \varphi} = \frac{126 \cdot 4,4}{2 \cdot 0,838} = 330 \text{ кг};$$

$$Q_2 = 0.$$

Схема 2. Постоянная нагрузка + ветер справа + неравномерный снег:

$$q_1 = g_1 + p_1 = 510 + 240 = 750 \text{ кг};$$

$$q_2 = (g_2 + p_2) \sin^2 \varphi = (240 + 240) \cdot 0,297 = 140 \text{ кг};$$

$$q_3 = (g_3 + p_3) \sin^2 \varphi + w_2 = (240 + 425) \cdot 0,297 + 126 = 325 \text{ кг};$$

$$Q_2 = [w_2 + (q_3 - q_2) \sin^2 \varphi] \frac{l_2}{2 \cos \varphi} = (126 + 185 \cdot 0,297) \cdot \frac{4,40}{2 \cdot 0,838} = 475 \text{ кг};$$

$$Q_1 = 0.$$

Схема 3. Постоянная нагрузка + ветер справа:

$$q_1 = 510 \text{ кг};$$

$$q_2 = 240 \cdot 0,297 = 71 \text{ кг};$$

$$q_3 = 240 \cdot 0,297 + 126 = 197 \text{ кг};$$

$$Q_2 = 330 \text{ кг};$$

$$Q_1 = 0.$$

б) Определении расчетных усилий

Составляющие опорных реакций в точке D определяются по формулам:

$$V_D = \frac{q_1 l_1}{2} + \frac{q_2 l_2^2}{2l} + \frac{q_3 l_2}{l} \left( l \sin \varphi - \frac{l_2}{2} \right) \pm \frac{Q_1 l_1}{l} \cos \varphi; \quad (26)$$

$$H_D = \frac{1}{2 \cdot h_2} \left[ V_D \cdot l - \frac{q_1 l_1^2}{4} - q_3 l_2 \left( l_2 - l_1 \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} \right) - Q_2 l_1 \operatorname{tg} \beta \right]. \quad (27)$$

Для схем загрузки 1, 2 и 3 (фиг. 73):

$$V_D^{(1)} = \frac{990 \cdot 7,6}{2} + \frac{270 \cdot 4,4^2}{2 \cdot 12,4} + \frac{140 \cdot 4,4}{12,4} \times 4,55 + \frac{330 \cdot 4,40}{12,4} \cdot 0,838 = 4295 \text{ кг};$$

$$V_D^{(2)} = \frac{750 \cdot 7,6}{2} + \frac{140 \cdot 4,4^2}{2 \cdot 12,4} + \frac{325 \cdot 4,4}{12,4} \times 4,55 - \frac{475 \cdot 4,4}{12,4} \cdot 0,838 = 3345 \text{ кг};$$

$$V_D^{(3)} = \frac{510 \cdot 7,6}{2} + \frac{71 \cdot 4,4^2}{2 \cdot 12,4} + \frac{197 \cdot 4,4}{12,4} \times 4,55 - \frac{330 \cdot 4,4}{12,4} \cdot 0,838 = 2215 \text{ кг};$$

$$H_D^{(1)} = \frac{1}{2 \cdot 4,19} \left[ 4295 \cdot 12,4 - \frac{990 \cdot 7,6^2}{4} - 140 \cdot 4,4 (4,4 + 7,6 \cdot 0,655) \right] = 3950 \text{ кг};$$

$$H_D^{(2)} = \frac{1}{2 \cdot 4,19} \left[ 3345 \cdot 12,4 - \frac{750 \cdot 7,6^2}{4} - 325 \cdot 4,4 (4,4 + 7,6 \cdot 0,655) - 475 \cdot 7,6 \cdot 0,1315 \right] = 2000 \text{ кг};$$

$$H_D^{(3)} = \frac{1}{2 \cdot 4,19} \left[ 2215 \cdot 12,4 - \frac{510 \cdot 7,6^2}{4} - 197 \cdot 4,4 (4,4 + 7,6 \cdot 0,655) - 330 \cdot 7,6 \cdot 0,1315 \right] = 1395 \text{ кг}.$$

Изгибающий момент в узле C:

$$M_C = V_D \cdot l_2 \sin \varphi - H_D \cdot l_2 \cos \varphi - \frac{q_3 l_2^3}{2}. \quad (28)$$

Для схем загрузки 1, 2 и 3:

$$M_C^{(1)} = 4295 \cdot 4,4 \cdot 0,545 - 3950 \cdot 4,4 \cdot 0,838 - \frac{140 \cdot 4,4^3}{2} = -5665 \text{ кгм};$$

$$M_C^{(2)} = 3345 \cdot 4,4 \cdot 0,545 - 2000 \cdot 4,4 \cdot 0,838 - \frac{325 \cdot 4,4^3}{2} = -2500 \text{ кгм};$$

$$M_C^{(3)} = 2215 \cdot 4,4 \cdot 0,545 - 1395 \cdot 4,4 \cdot 0,838 - \frac{197 \cdot 4,4^3}{2} = -1730 \text{ кгм}.$$

Очевидно, что загрузка по схеме 3 не дает расчетных изгибающих моментов в пролетных сечениях элементов.

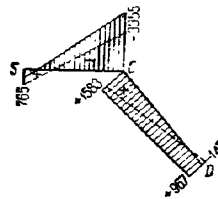
Изгибающие моменты в ноге CD и ригеле SC рамы при загрузении по схемам 1 и 2 определяются, как в простых балках, загруженных равномерной нагрузкой и моментом на опоре C; момент в произвольном сечении ноги:

$$M_x = \frac{M_C x}{l_2} + \frac{q_3 x (l_2 - x)}{2}.$$

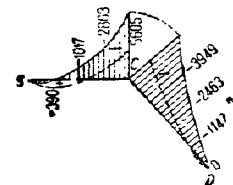
Момент в произвольном сечении ригеля:

$$M_y = \frac{M_C \cdot y}{0,5 l_1} + \frac{q_2 y (0,5 l_1 - y)}{2}.$$

Результаты вычислений представлены в табл. 6 и на фиг. 74.



Фиг. 74. Эшора M



Фиг. 75. Эшора Q

Поперечные силы в концевых сечениях ноги и ригеля определяются, как в простой балке:

$$Q = Q_0 \pm \frac{M_l}{l_0},$$

где  $l_0$  — длина ноги или ригеля SC.

Величины их при загрузении по схемам 1 и 2 приведены в табл. 7 и на фиг. 75.

Изгибающие моменты в сечениях ноги и ригеля

Таблица 6

| № сечения | x    | № схемы загрузки | $\frac{M_C \cdot x}{l_2}$ | $\frac{q_3 \cdot (l_2 \cdot x)}{2}$ | $M_D$ в кгм | № точек | y    | № схемы загрузки | $\frac{M_C \cdot y}{0,5 l_1}$ | $\frac{q_1 \cdot y (0,5 l_1 - y)}{2}$ | $M_y$ в кгм |
|-----------|------|------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------|---------|------|------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------|
| 1         | 1,10 | 1                | -1 401                    | +254                                | -1 147      | 6       | 0,95 | 1                | -1 401                        | +1 390                                | - 61        |
|           |      | 2                | - 625                     | +590                                | - 35        |         |      | 2                | - 625                         | +1 015                                | + 390       |
| 2         | 2,20 | 1                | -2 302                    | -339                                | -2 463      | 5       | 1,90 | 1                | -2 302                        | +1 755                                | -1 017      |
|           |      | 2                | -1 250                    | +785                                | + 165       |         |      | 2                | -1 250                        | +1 353                                | + 103       |
| 3         | 3,30 | 1                | -4 203                    | +254                                | -3 649      | 4       | 2,85 | 1                | -4 203                        | +1 340                                | -2 863      |
|           |      | 2                | -1 875                    | +590                                | -1 285      |         |      | 2                | -1 875                        | +1 015                                | - 890       |

Таблица 7

Поперечные силы в сечениях ноги и ригеля

| № точек        | № схемы загрузки | $Q_0$   | $\frac{M_C}{l_0}$ | Q в кгс |
|----------------|------------------|---------|-------------------|---------|
| D              | 1                | - 308   | + 1 275           | + 963   |
|                | 2                | - 715   | + 563             | - 147   |
| C <sub>н</sub> | 1                | + 308   | - 1 275           | + 1 583 |
|                | 2                | + 715   | + 563             | + 1 283 |
| C <sub>р</sub> | 1                | - 1 890 | - 1 475           | - 3 355 |
|                | 2                | - 1 425 | - 660             | - 2 085 |
| S              | 1                | - 1 890 | - 1 475           | + 405   |
|                | 2                | + 1 425 | - 660             | + 765   |

Наибольшая нормальная сила в ноге возникает при загрузке по схеме 1:

$$N_N^{(1)} = -V_D^{(1)} \cos \varphi - H_D^{(1)} \sin \varphi = -4 295 \cdot 0,838 - 3 950 \cdot 0,545 = -5 750 \text{ кг.}$$

При загрузке по схеме 2:

$$N_N^{(2)} = -3 345 \cdot 0,838 - 2 000 \cdot 0,545 = -3 890 \text{ кг.}$$

Наибольшая нормальная сила в ригеле, очевидно, имеет место в сечении C при загрузке по схеме 1:

$$\Delta_p^{(1)} = N_N^{(1)} \sin(\varphi + \beta) - Q_C^{(1)} \cdot \cos(\varphi + \beta) = -5 750 \cdot 0,648 - 1 583 \cdot 0,747 = -4 910 \text{ кг.}$$

При загрузке по схеме 2:

$$\Delta_p^{(2)} = -3 890 \cdot 0,648 - 1 283 \cdot 0,747 - 475 \cdot 1,07 = -3 990 \text{ кг.}$$

в) Расчет элементов

Устойчивость сжатого пояса рамы на продольный изгиб проверена по среднему значению нормальной силы в середине длины стержня.

Величина нормальной силы от изгибающего момента определена по формуле  $N = \frac{M}{e}$ , где e — расстояние между центрами тяжести поясов. Сечение 2 ноги (фиг. 73 и 69, а):

$$h = 55 \text{ см; } a = 18 \text{ см; } e = h - a = 37 \text{ см; } b = 6 \text{ см; } c = 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ см.}$$

Расчетное сжимающее усилие в нижнем поясе имеет место при загрузке по схеме 1:

$$N = \frac{M}{e} + \frac{N_N}{2} = -\frac{2 463}{0,37} - \frac{5 750}{2} = -9 520 \text{ кг.}$$

При расчете нижнего пояса на продольный изгиб момент инерции определяется с учетом дополнительной доски сечением 4×22 см:

$$I_y = \frac{17^3 \cdot 5^3}{12} \cdot 18 + \frac{4 \cdot 22^3}{12} = 40 720 \text{ см}^4;$$

$$F = 12 \cdot 18 + 4 \cdot 22 = 304 \text{ см}^2;$$

$$i_y = 420 \text{ см; } r_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}} = ,95 \text{ см;}$$

$$\frac{i_y}{r_y} = \frac{420}{5,95} = 70,5;$$

$$\varphi_y = 0,50.$$

При расчете напряжений площадь дополнительной доски нижнего пояса не учитывается и пригоровка ее в концевых сечениях необходима:

$$n_- = \frac{N}{F \varphi_y} = \frac{9 520}{12 \cdot 18 \cdot 0,5} = 88 < 90 \text{ кг/см}^2$$

Сечение ноги в узле C (фиг. 73, 69, а):

$$h = 80 \text{ см; } a = 18 \text{ см; } e = h - a = 62 \text{ см; } b = 6 \text{ см; } c = 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ см.}$$

Расчетное усилие в нижнем поясе:

$$N = -\frac{5 605}{0,52} - \frac{5 750}{2} = -11 910 \text{ кг.}$$

Напряжение:

$$n_- = \frac{N}{F} = \frac{11 910}{216} = 55 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет гвоздей в дополнительной доске нижнего пояса ноги (фиг. 82):

$$T_b^{1/2} = k \frac{S}{b'} \cdot \frac{[n_{II}]}{[n_I]} \cdot \left(\frac{1}{\varphi_y} - 1\right) \frac{N}{F} = 4,03 \cdot \frac{594}{8,5} \cdot \frac{110}{100} \cdot \left(\frac{1}{0,5} - 1\right) \cdot \frac{9 520}{325} = 2 320 \text{ кг.}$$

Необходимое число гвоздей  $\varnothing 4,5$ ,  $l=90$  мм на половине расчетной длины ноги в каждой ветви:

$$m = \frac{2 \cdot 320}{56} = 42 \text{ шт.}$$

Сечение 4 ригеля (фиг. 73, 69, а):

$$h = 74 \text{ см}; a = 18 \text{ см}; e = h - a = 56 \text{ см}; \\ b = 6 \text{ см}; c = 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ см.}$$

На нижний пояс нашивается дополнительная доска сечением  $22 \times 4$  см.

Сжимающее усилие в нижнем поясе:

$$N_- = \frac{M}{e} + \frac{N_p}{2} = -\frac{2863}{0,56} - \frac{4910}{2} = -7570 \text{ кг.}$$

Очевидно, что расчетные напряжения сжатия будут менее полученных для ноги рамы.

Расчет гвоздей в дополнительной доске нижнего пояса ригеля (фиг. 82):

$$l_y = 370 \text{ см}; r_y = 5,95 \text{ см}; \\ \frac{l_y}{r_y} = \frac{370}{5,95} = 62; \varphi_y = 0,56.$$

Принимая в запас прочности среднее значение нормальной силы по сечению 4, получим:

$$T_0^{1/2} = k \frac{S}{K} \cdot \frac{[n_m]}{[n_-]} \cdot \left( \frac{1}{\varphi_y} - 1 \right) \frac{N}{F} = \\ = 1,03 \frac{594}{8,5} \cdot \frac{110}{100} \left( \frac{1}{0,56} - 1 \right) \cdot \frac{7570}{326} = 1445 \text{ кг.}$$

Необходимое число гвоздей  $\varnothing 4,5$ ,  $l=90$  мм на половине расчетной длины в каждой ветви:

$$m = \frac{1445}{56} = 26 \text{ шт.}$$

Узел С (фиг. 73, 77).

Момент  $M_G = -5605$  кам; нормальная сила  $N_G = -5750$  кг; поперечная сила  $Q_G = 1583$  кг.

Растягивающее усилие по оси прокладки верхнего пояса принято:

$$N \approx \frac{M_G}{e} - \frac{N_G}{2} \cos \left( \frac{90 - \varphi - \beta}{2} \right) - \\ - \frac{Q_G}{2} \cdot \sin \left( \frac{90 - \varphi - \beta}{2} \right) = \frac{5605}{0,7} - \\ - \frac{5750}{2} \cdot 0,906 - \frac{1583}{2} \cdot 0,409 = 5070 \text{ кг.}$$

Допускаемое усилие на один срез болтового нагеля  $\varnothing 12$  мм:

по смятию прокладки:

$$T_6 = 0,5 \cdot 5 \cdot 1,2 \cdot 72 = 216 \text{ кг};$$

по смятию досок пояса при  $\alpha = 26^\circ$ :

$$T_6 = 0,5 \cdot 6 \cdot 1,2 \cdot 63 = 227 \text{ кг};$$

по изгибу:

$$T_6 = 0,5 \cdot 1,2^2 \sqrt{1400 \cdot 63} = 215 \text{ кг.}$$

Необходимое число четырехсрезовых болтовых нагелей:

$$m_1 = \frac{N}{4T_6} = \frac{5070}{4 \cdot 215} = 6 \text{ шт.}$$

Ослабленная площадь прокладки и двух накладок:

$$F_{\text{нотто}} = 18 \cdot (5 + 4 \cdot 2) - 1,2 \cdot 13 \cdot 3 = 187 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$n_+ = \frac{5070}{187} = 27 \text{ кг/см}^2.$$

Для придания конструкции необходимой жесткости при монтаже нижние пояса соединяются в угле двумя накладками.

Расчет гвоздей в поясах ноги. Стенки выполнены из досок толщиной 2,5 см, расположенных под углом  $\alpha = 30^\circ$  к оси ноги. Гвозди приняты  $\varnothing 5$ ,  $l=150$  мм.

Допускаемое усилие на один срез гвоздя: по изгибу:

$$T_{20} = 0,8 \cdot 0,5^2 \sqrt{1800 \cdot 72} = 72 \text{ кг};$$

по смятию раскосов:

$$T_{20} = 0,5 \cdot 2,5 \cdot 0,5 \cdot 72 = 45 \text{ кг};$$

по смятию досок пояса:

$$T_{20} = 0,7 \cdot 3,1 \cdot 0,5 \cdot 72 = 78 \text{ кг.}$$

Опорное сечение:

$$Q_D = 967 \text{ кг}; h = 30 \text{ см};$$

$$I_x = \frac{12 \cdot 30^3}{12} = 27000 \text{ см}^4;$$

$$S_x = \frac{12 \cdot 15^2}{2} = 1350 \text{ см}^3.$$

Сдвигающее усилие:

$$T = \frac{QS}{I} = \frac{967 \cdot 1350}{27000} = 48,3 \text{ кг/поп. см.}$$

Необходимое число гвоздей на 1 м: по изгибу:

$$m_1 = \frac{4830}{72 \cdot 2} = 34 \text{ шт.};$$

по смятию раскосов:

$$m_1' = \frac{4830}{2 \cos \alpha \cdot 45 \cdot 2} = \frac{4830}{1,73 \cdot 90} = 31 \text{ шт.}$$

Сечение 1 (фиг. 73):

$$Q = 967 + 140 \cdot 1,10 = 1121 \text{ кг}; h = 42 \text{ см};$$

$$I_x = \frac{42^3 - 6^3}{12} \cdot 12 = 73880 \text{ см}^4;$$

$$S_x = 12 \cdot 18 \cdot 12 = 2590 \text{ см}^3.$$

Сдвигающее усилие:

$$T = \frac{QS}{I} = \frac{1121 \cdot 2590}{73880} = 39,3 \text{ кг/см.}$$

Необходимое число гвоздей на 1 м:

$$m_2 = \frac{3930}{72 \cdot 2} = 27 \text{ шт.}$$

Сечение 3 (фиг. 73):

$$Q = 967 + 140 \cdot 3,3 = 1429 \text{ кг};$$

$$h = 68 \text{ см};$$

$$I_x = \frac{68^3 - 32^3}{12} \cdot 12 = 282000 \text{ см}^4;$$

$$S_x = 12 \cdot 18 \cdot 25 = 5400 \text{ см}^3.$$

Сдвигающее усилие:

$$T = \frac{1429 \cdot 5400}{282000} = 27,4 \text{ кг/см.}$$

Необходимое число гвоздей на 1 м:

$$m_3 = \frac{2740}{72 \cdot 2} = 19 \text{ шт.}$$

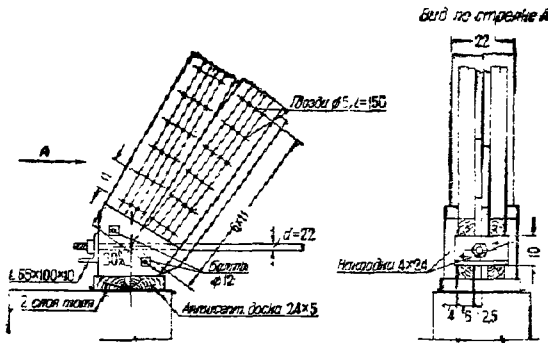
Расчет гвоздей в поясах ригеля. Сечение в шарнире S (фиг. 73):

$$Q_S = 765 \text{ кг}; h = 30 \text{ см};$$

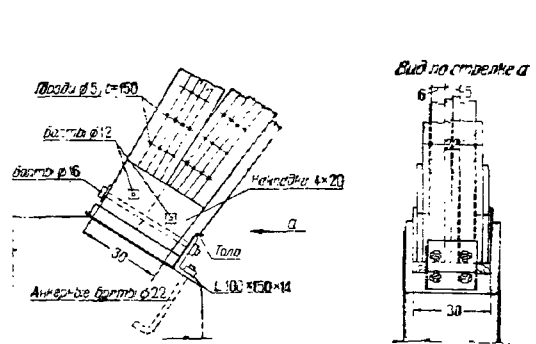
$$I_x = \frac{12 \cdot 35^3}{12} = 42800 \text{ см}^4;$$

$$S_x = \frac{12 \cdot 17,5^2}{2} = 1840 \text{ см}^3.$$

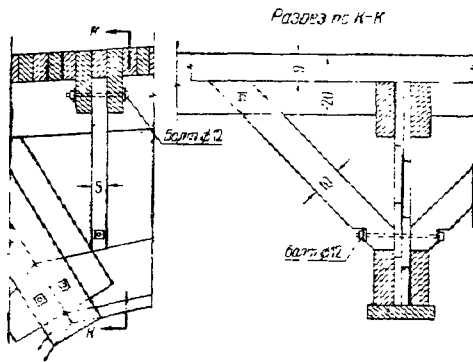




Фиг. 79. Опорный узел рамы с затяжкой

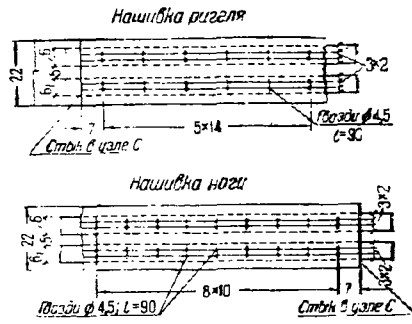


Фиг. 80. Опорный узел рамы без затяжки



Фиг. 81. Связи в узлах В и С

Разбивка гвоздей в нашивках шпакетного пояса



Фиг. 82. Усиление шпакетных поясов ригеля и ноги

Сдвигающее усилие:

$$T = \frac{QS}{I} = \frac{765 \cdot 1840}{42800} = 32,9 \text{ кг/см.}$$

Необходимое число гвоздей на 1 пог. м:

$$n_1 = \frac{3290}{72 \cdot 2} = 23 \text{ шт.}$$

Сечение б (фиг. 73):

$$Q = 405 - 990 \cdot 1,1 = -685 \text{ кг;}$$

$$h = 51 \text{ см; } I_x = \frac{51^3 - 15^3}{12} \cdot 12 = 129100 \text{ см}^4;$$

$$S_x = 12 \cdot 18 \cdot 17,5 = 3780 \text{ см}^3.$$

Сдвигающее усилие:

$$T = \frac{QS}{I} = \frac{685 \cdot 3780}{129100} = 20 \text{ кг/см.}$$

Необходимое число гвоздей на 1 пог. м:

$$n_2 = \frac{2000}{72 \cdot 2} = 14 \text{ шт.}$$

Узел С (фиг. 73 и 78).

Вертикальная составляющая опорной реакции:

$$V_S = \frac{q_1 l}{3} + q_2 l^2 \cdot \sin \varphi - V_D =$$

$$= 750 \cdot 3,8 + 325 \cdot 4,4 \cdot 0,545 - 2345 = 285 \text{ кг.}$$

Шарнир сконструирован из двух ветвей листового железа сечением 2 × 50 мм, прикрепленных к поясным доскам гвоздями φ 5, l = 150 мм.

Без учета трения число гвоздей для прикрепления одной ветви:

$$m = \frac{285}{72} = 4 \text{ шт.}$$

Затяжка выполнена из круглого железа ( $d_0 = 22$  мм), концы осажены под нарезку до  $d = 25$  мм (фиг. 66):

$$N_p = 3950 \text{ кг; } F_{\text{норм}} = 3,57 \text{ см}^2;$$

$$n_4 = \frac{3950}{3,57} = 1105 \text{ кг/см}^2.$$

Опорный узел сконструирован по двум вариантам.

По варианту 1 (фиг. 79) рама имеет затяжку. Напряжения смятия под шайбой затяжки:

$$n_{\text{ш}} = \frac{3950}{12 \cdot 10} = 33 \text{ кг/см}^2;$$

опорной доски:

$$n_{\text{см}} = \frac{4295}{20 \cdot 12} = 18 \text{ кг/см}^2.$$

По варианту 2 (фиг. 80) рама опирается на наклонную плоскость, нормальную к оси ноги. Разлагая опорную реакцию по нормали и по касательной к плоскости опоры при невыгоднейшем нагружении, получим:

$$N = 5750 \text{ кг; } Q = 967 \text{ кг.}$$

Принимая коэффициент трения равным 0,3, получим коэффициент запаса против скольжения:

$$k = \frac{5750 \cdot 0,3}{967} = 1,78.$$

Деталь завязки нижнего пояса в узле С представлена на фиг. 81.

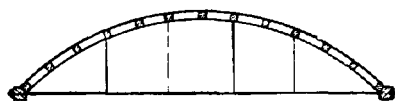
## ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ

В. А. ИВАНОВ

### 1. ДВОЙНЫЕ ГНУТЫЕ СВОДЫ (ШУХОВА-БРОДА)

#### 1. Общие сведения

Свод состоит из двух слоев досок, изогнутых по кривой поперечного сечения свода. Верхний досчатый слой (верхний настил), несущий на себе водоизоляцию и нижний слой (нижний настил), несущий паро- и теплоизоляцию, соединяются в одно целое при посредстве уложенных между ними брусьев (прогонов). Доски обоих настилов располагаются, как правило, перпендикулярно к образующей свода и являются основными рабочими элементами конструкции. Прогоны укладываются вдоль образующей свода (фиг. 1).



Фиг. 1. Двойной гнутый свод

Соединение досок с прогонами и между собой нормально осуществляется при помощи гвоздей, хотя возможно применение и иных средств скрепления (болтов, шурупов).

Толщина досок настилов, сечение прогонов и гвоздевой забой назначаются по расчету из условия прочного восприятия ими всех усилий, действующих на свод, который таким образом является одновременно и несущей конструкцией и собственно покрытием (ограничением).

Распор свода воспринимается затяжками или при наличии достаточно мощных и устойчивых опор передается через их фундаменты на грунт. Во избежание провисания затяжек их поддерживают в пролете подвесками. Затяжки и подвески обычно делаются из круглого железа.

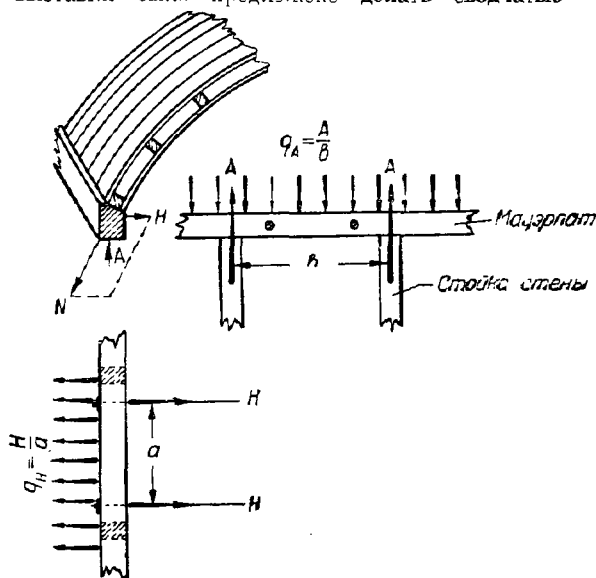
У опор свода доски настилов прочно принимаются к крайнему прогону, плотно упирая концы их в мауэрлат. Последний полностью воспринимает на себя усилия свода, затяжек и стоек (фиг. 2).

Прототипом рассматриваемой конструкции можно считать свод, состоящий из одного слоя досок, соединенных между собой при помощи брусьев.

Однако такая конструкция может иметь достаточную прочность лишь при очень небольших пролетах и нагрузках. При обычных пролетах,

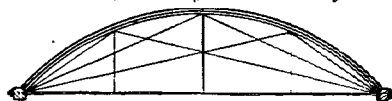
имеющих место в практике строительства, жесткости одного слоя досок недостаточно.

Инж. Шуховым для зданий Нижегородской выставки было предложено делать сводчатые



Фиг. 2. Схема работы мауэрлата

покрытия из нескольких слоев досок, сбитых между собой гвоздями. Получившийся при этом тонкий свод для увеличения устойчивости



Фиг. 3. Свод Шухова

усиливался наклонными тяжками (фиг. 3). Несмотря на наличие тяжей, это покрытие оказалось недостаточно устойчивым и широкого распространения не получило.

Свод Брода можно рассматривать как дальнейший этап развития конструкции покрытия. Прогоны увеличивают жесткость свода и позволяют применять покрытие для пролетов до

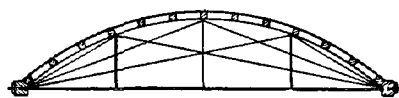
20 м без каких-либо дополнительных мер по увеличению устойчивости. Однако даже при небольших пролетах конструкция обладает недостаточной жесткостью при действии односторонних нагрузок. Особенно сильно сказывается этот недостаток вследствие недоучета пластических деформаций в гвоздевых соединениях при одновременном стремлении к полному использованию их механической прочности.

Неудовлетворительные условия температурно-влажностного режима свода представляют опасность в отношении возможности возникновения в нем гнилостных процессов.

Все вышеуказанное заставляет относиться к сводам с большой осторожностью и применять его только в тех случаях, когда обеспечено безукоризненное качество проектирования, производства работ и эксплуатации.

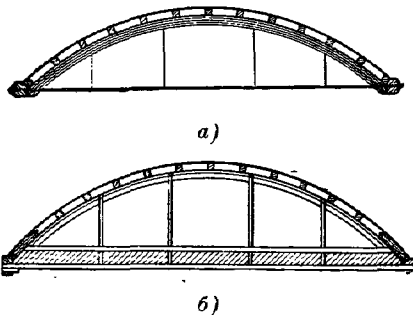
Применение свода в многоярусных (многоэтажных) зданиях не рекомендуется.

В тех случаях, когда имеется опасение за устойчивость покрытий, а также при усилении деформировавшихся сводов, в конструкцию вводят дополнительные элементы жесткости (ребра, подкосы, тяжи) (фиг. 4) или соединяют со сво-



Фиг. 4. Двойной гнутый свод с тяжами

дами самостоятельную плоскую систему — поперечную стенку, ферму, арку. Наличие такой системы позволяет опереть на нее прогоны и ввести их в работу, превратив свод из плоскостной конструкции в пространственную (фиг. 5, а, б).



Фиг. 5. Усиленный свод

Описанные способы усиления сводов существенно увеличивают их устойчивость, однако усложняют расчет и выполнение сводов и в большой мере сводят на нет эксплуатационные преимущества свода (гладкая поверхность потолка, отсутствие решетки и пр.). Применение наклонных тяжей кроме того требует дополнительного расхода металла.

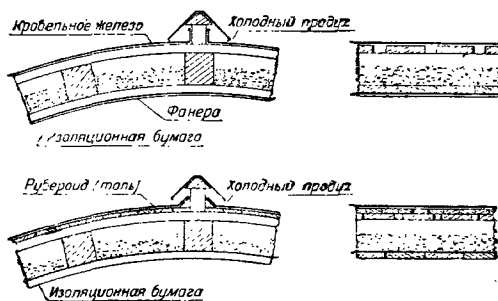
## 2. Описание элементов конструкции

### 1) Настилы

Доски нижнего настила прибивают к прогонам нормально вплотную друг к другу; доски же верхнего настила располагаются с небольшими зазорами для вентиляции воздушного прослойка между настилами, что является необходимым с точки зрения долговечности покрытия.

Отсутствие вентиляции в данном случае особенно опасно, так как несущая конструкция скрыта от непосредственного наблюдения, и место протекания кровли трудно своевременно обнаружить. При неправильном устройстве утепления и пароизоляции увлажнение свода легко может произойти также и от конденсации паров, проникающих в него снизу. Влага обычно попадает также в конструкцию в процессе производства работ в связи с применением влажного лесоматериала, наматывания утеплителя под дождем и т. п.

Для создания в конструкции осушающего режима у опор свода устраивают специальные небольшие отверстия для доступа внутрь свода наружного воздуха, а шельги ставят вытяжные флюгарки с таким расчетом, чтобы обеспечить проветривание внутреннего пространства по всей площади покрытия (фиг. 6).



Фиг. 6. Поперечный и продольный разрезы свода

Для нижнего настила в пелях большей плотности обшивки полезно применять вагонку, шпунтованную или в четверть.

Толщина досок назначается по расчету и колеблется в пределах от 1,9 до 3,5 см. Применять доски толще 1,9 см не следует.

При устройстве железной кровли таковая обычно укладывается непосредственно по верхнему настилу (фиг. 6). Под толевую или рубероидную кровлю по верхнему настилу делается сплошная обшивка сухими досками толщиной 19 мм и шириной около 50 мм под углом 45° к образующей свода (защитный настил).

Доски основных настилов свода должны быть возможно более длинными для уменьшения числа стыков и количества гвоздей, идущих на их перекрытие. Стыки досок располагаются нормально на прогонах.

В обычной конструкции сводов стыки досок не перекрываются специальными накладками и располагаются по развертке свода вразбежку (в шахматном порядке). При этом ослабление сечения свода вследствие наличия неперекрываемых стыков составляет 50%.

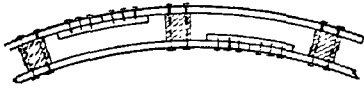
Для уменьшения ослабления сечения свода стыки досок иногда перекрывают односторонними накладками с внутренней стороны свода (фиг. 7).

Вследствие малой жесткости такого стыка устройство его не рекомендуется.

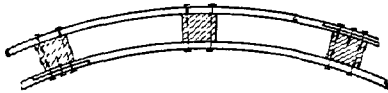
При толщине досок настилов от 3,0 до 3,5 см возможно перекрытие их «шпалдеревом» (фиг. 8). Однако рекомендовать эту конструкцию также нельзя вследствие сложности ее изготовления.

Для устройства настилов возможно применение шломатериалов пониженного качества,

так как использование прочности материала обычно бывает неполное. (Совершенно нелюбимы конечно признаки гнили в применяемом материале.)



Фиг. 7. Перекрытие стыка настилов



Фиг. 8. Перекрытие стыка настилов впол-  
дерева

### 2) Прогоны

Назначение прогонов — связывать настилы в одно целое и тем придавать сечению свода необходимую мощность и жесткость. Размеры прогонов назначаются по расчету: высота определяется из условия прочности сечения свода под действием расчетных усилий, а ширина должна быть достаточной для возможности размещения требуемого количества гвоздей. Кроме того ширина прогонов имеет существенное значение при проверке на выдергивание гвоздей, стремящихся под влиянием сдвигающих сил свода повернуть прогоны около их продольных осей. Рекомендуется назначать ширину прогонов равной их высоте.

При подборе сечения свода высоту прогонов следует принимать от  $0,008 l$  до  $0,010 l$  (где  $l$  — расчетный пролет свода) в зависимости от нагрузки, очертания свода и выбранной толщины настилов.

Для увеличения общей жесткости длину прогонов следует делать по возможности большей, однако не в ущерб их стоимости (до 6—6,5 м). Стыки прогонов располагаются в шахматном порядке.

Расстояние между прогонами зависит главным образом от длины и толщины досок, применяемых для настилов, и колеблется от 65 до 125 см (ТУ и Н 1931 г., § 229). Прогоны следует размещать с таким расчетом, чтобы по возможности использовать полную длину принятых досок.

Крайний прогон у опоры плотно пригоняется к мауэрлату и сплавивается с ним болтами диаметром 12—16 мм (или насаживается на внутренние вставные шпихи).

Разрушение сводов обычной конструкции при одностороннем нагружении чаще всего происходит вследствие поворота прогонов относительно их продольных осей с выдергиванием гвоздей (фиг. 9). Поворот прогонов начинается прежде всего в зоне действия наибольших поперечных сил. Сначала поворот совершается без отрыва от настилов, путем некоторого их искривления. Затем шляпки гвоздей начинают вымываться в древесину настилов, и разрушение наступает или от продавливания шляпок гвоздей сквозь доски или от вырывания гвоздей из прогонов.

Задолго до полного разрушения свод получает недопустимо большие деформации.

Для увеличения устойчивости прогонов иногда устраивают между ними распорки из отрезков

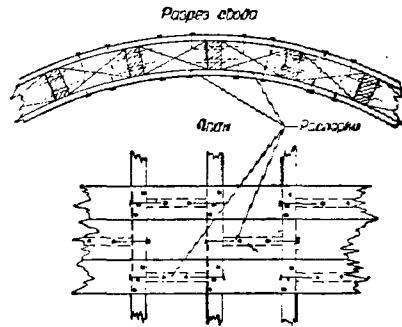
досок, которые пришивают гвоздями к прогонам и настилам (фиг. 10). Если распорки поставлены достаточно часто (через 40—50 см), то возможно устройство прогонов из досок, поставленных на ребро. При этом расстояние между прогонами делается примерно в 2 раза меньше указанного выше для прогонов из брусев<sup>1</sup>.

Однако применение распорок усложняет работу по устройству свода и удорожает его.

Целые брусчатые прогоны не рекомендуется делать выше 20 см, что ограничивает область применения обычной конструкции свода пролетами до 20 м.



Фиг. 9. Работа гвоздей на выдергивание



Фиг. 10. Свод с распорками

### 3) Мауэрлаты

Давление свода передается полностью на мауэрлат, представляющий собой брус со скошенным в сторону свода углом. Размеры и конструкция мауэрлата (фиг. 2) определяются в соответствии с величиной действующих на него нагрузок — вертикальной (опорная реакция) и горизонтальной (распор).

При устройстве свода по сплошным стенам мауэрлат делают из одного бруса, уложенного вдоль карниза стены. Мауэрлат плотно соединяют с крайним прогоном свода, что придает опорному узлу большую жесткость. При консольно-балочном решении мауэрлата стыки в нем следует располагать примерно в  $1/3$  расстояния между затяжками.

В случае устройства свода на деревянных каркасных стенах мауэрлат укладывается непосредственно по стойкам стены и одновременно служит для них верхней обвязкой.

Если при этом расстояние между точками опор мауэрлата велико, то конструкция мауэрлата принимает более мощную форму составной балки.

Во всех случаях при расчете опорной конструкции следует иметь в виду необходимость придания ей достаточной жесткости.

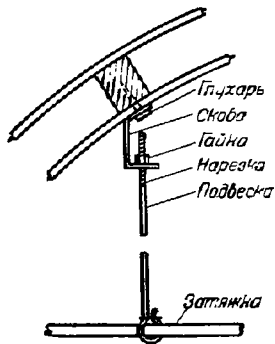
### 4) Затяжки

Распор свода гасится затяжками или воспринимается непосредственно опорами. При высоких и легких стенах следует ставить затяжки. Затяжки делают, как правило, металлическими.

<sup>1</sup> Подобный свод испытан в Ленинграде в 1931 г. и показал достаточный запас прочности.

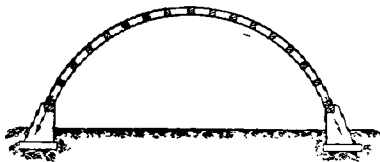


Во всех случаях практики следует помнить, что при недостаточной прочности затяжек неизбежно обрушение всего покрытия. Ввиду этого необходим тщательный бракераж материалов и изделий, идущих на изготовление затяжек (муфт, сварных стыков и пр.).



Фиг. 11. Крепление подвесок

Через каждые 3—4 м затяжки поддерживаются подвесками из тонкого круглого железа толщиной 4—5 мм. При устройстве подвесок рекомендуется предусмотреть возможность регулировки их длины, что легко достигнимо включением скоб и нарезной верхних концов подвесок (фиг. 11).



Фиг. 12. Свод без затяжки

Устройство сводов без затяжек требует неподвижности опор, способных воспринять распор свода, что трудно осуществимо при высоких стенах. При низких стенах фундаменты их должны быть соответственным образом рассчитаны и сконструированы (фиг. 12).

### 5) Крепления

Для соединения отдельных частей свода между собой применяются главным образом гвозди. Наиболее ходовые размеры гвоздей: длина от 10 до 15 см, диаметр — от 4 до 5,5 мм.

Правильная забивка гвоздей и точное размещение их по проекту являются основным условием надежности покрытия.

Гвозди должны иметь нормальную шляпку. Еще лучше применять широкошляпные гвозди, так как разрушение конструкции нередко начинается из-за вмятия шляпок гвоздей в доски настилов.

В стыках досок для прикрепления их концов к прогонам рекомендуется применять шурупы, помещая их в предварительно рассверленные отверстия, что устраняет опасность раскалывания конца доски. Особенно большую пользу это приносит при узких прогонах, где расстояние от шурупа до конца доски получается значительно меньше минимума, установленного нормами для гвоздей.

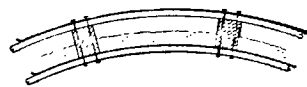
Болты применяются лишь как вспомогательное средство скрепления у опор свода для обалчивания мауэрлата с крайним прогоном или для присоединения к своду каких-либо дополнительных частей конструкции (тяжей, ребер и т. п.).

### 6) Утепление и кровля

Утепляющий слой обычно укладывается на нижнем настиле свода. Во избежание проникания паров из помещения внутрь свода под теплоизоляцией должен иметься воздухопроницаемый слой из изоляционной бумаги, осмоленной фанеры и т. п.

Изоляционная бумага расстилается, как правило, сплошь по всей поверхности нижнего настила. В исключительных случаях укладывают ее отдельными полосами в промежутках между прогонами (фиг. 13). При этом края загибают по стенке прогона и пришивают к ней гвоздями через тонкую рейку. Еще лучше в этом случае заранее подшивать к прогонам снизу доски толя, перекрываемые в дальнейшем кусками изоляционной бумаги.

Сплошной слой изоляционной бумаги по нижнему настилу



Полосовая изоляция между прогонами  
Фиг. 13. Укладка пароизоляции

Основным требованием, предъявляемым к теплоизоляции, являются малое содержание влаги и безвредность в отношении заноса источников грибов и плесени.

Поэтому все органические засыпки не могут быть рекомендованы для применения. В случае же неизбежности применения таковых необходимо обеспечить защиту засыпок от намокания при производстве работ, а также тщательно соблюдать правила вентиляции и изоляции свода. Кроме того должно производиться антисептирование засыпок.

Кровля должна быть совершенно водонепроницаема. Ежегодно после зимнего сезона нужно производить тщательный осмотр кровли и все замеченные дефекты устранять. Очистку крыши от снега и льда следует производить осторожно, чтобы не пробить в ней отверстий.

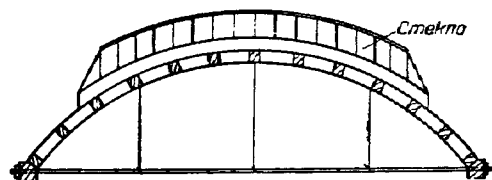
### 7) Фонари

Простейшим является устройство поперечного фонаря (фиг. 14). Для этого часть поверхности свода освобождается от настилов, и над образовавшимся отверстием устраивается фонарь. Прогоны частично убираются; оставшаяся часть пропускается через фонарь для обеспечения связи между соседними отрезками свода. Нагрузка с площади фонаря передается на соседние участки свода, которые должны быть соответственно усилены.

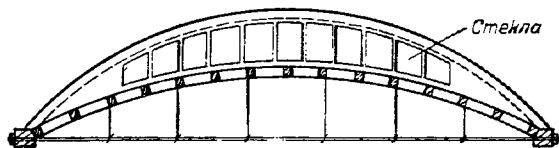
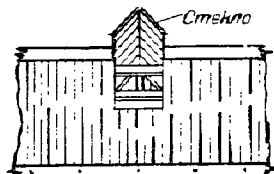
Недостатком этого решения является снижение общей жесткости свода, а также криволинейное очертание фонаря, затрудняющее устройство остекления и переплетов.

Устройство продольного фонаря при обычной конструкции перекрытия невозможно, так как требует полной перерезки досок настилов по всей длине свода.

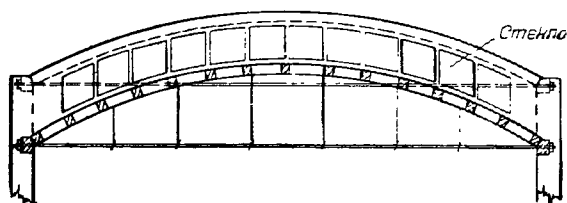
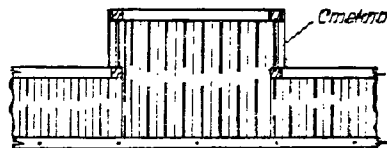
Иногда для устройства фонаря соседним участкам приходится различная кривизна (фиг. 15).



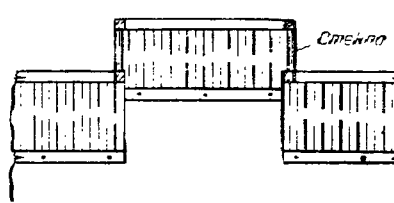
Фиг. 14. Поперечный треугольный фонарь



Фиг. 15. Фонарь между сводами разной кривизны



Фиг. 16. Фонарь между сводами в разных уровнях



Уступ, получающийся на границе смежных участков, заполняют остеклением. Если при этом между стойками оконных рам устраиваются раскосы, то полученная конструкция играет роль самостоятельной фермы жесткости, лоясами которой служат соседние участки сводов.

Такая конструкция дает известную экономию, облегчая как фонарь, так и все покрытие в целом, и может быть рекомендована для соответствующих случаев практики. Аналогичное решение возможно при устройстве покрытия из участков одинаковой кривизны, но расположенных в различных уровнях (фиг. 16).

В обоих последних случаях стекла фонарей находятся в вертикальном положении, что является наилучшим с эксплуатационной точки зрения.

### 3. Проектирование и расчет сводов

Проектирование свода начинают с выбора его очертания и назначения пролета, т. е. отношения стрелы к пролету. Для очертания свода обычно принимают параболу или круг.

Параболические своды обладают тем преимуществом, что в них при равномерно распределенной по плану нагрузке действуют лишь нормальные сжимающие усилия, тогда как в цилиндрических сводах в этом случае возникают небольшие моменты и поперечные силы.

Параболические и цилиндрические двухшарнирные своды рассчитываются, как трехшарнирные.

При этом в цилиндрических сводах значения изгибающих моментов получаются несколько больше действительных.

Теоретически параболический свод является более выгодным в силу отсутствия в нем моментов и поперечных сил от равномерной нагрузки

по всему плану свода. С другой стороны, постоянная кривизна цилиндрического свода является положительным фактором, повышающим устойчивость свода. Учитывая последнее обстоятельство, а также удобство производства работ, рекомендуется проектировать своды кругового очертания.

Отношение стрелы к пролету свода устанавливается, исходя как из конструктивных особенностей свода, так и из назначения перекрываемого помещения. Отношение это принимается в пределах от  $\frac{1}{6}$  до  $\frac{1}{4}$ , если не имеются в виду какие-либо специальные условия в отношении использования пространства под сводом.

Назначать стрелу свода меньше  $\frac{1}{6}$  пролета не следует, так как помимо увеличения распора при этом возрастает опасность потери формы свода.

После выяснения точных геометрических размеров свода вычисляются нагрузки. Временная нагрузка (снег) учитывается в двух положениях: по всей площади покрытия и с одной стороны свода.

Произведя статический расчет, определяют расчетные усилия и соответственно им назначают размеры элементов свода.

Согласно ТУ и Н изд. 1931—1934 гг., § 230 и 232 все продольные усилия, возникающие в настилах свода под влиянием моментов и сжимающих сил, должны восприниматься нижней частью всех досок верхнего и нижнего настилов (ввиду наличия 50% стыков).

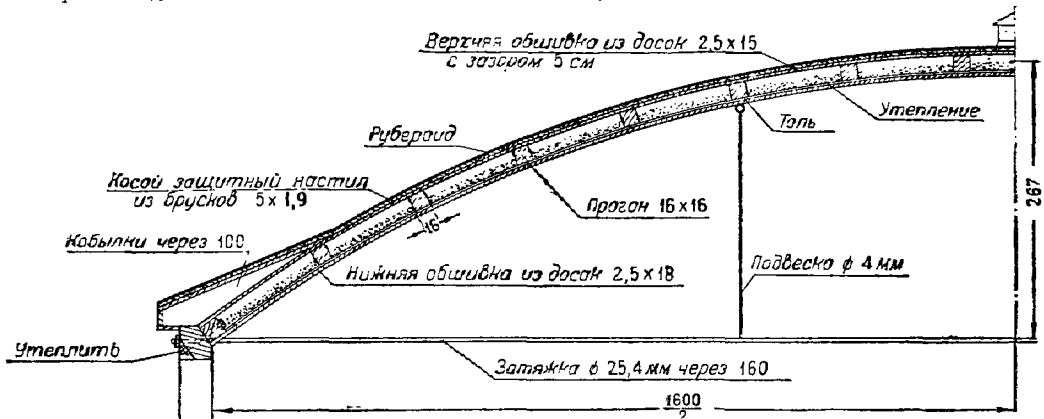
При этом должен производиться учет напряжений от начального выгиба досок.

Устойчивость свода должна быть обеспечена соответствующим снижением допускаемых напряжений путем умножения их на коэффициенты  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  (ТУ и Н § 18—25).

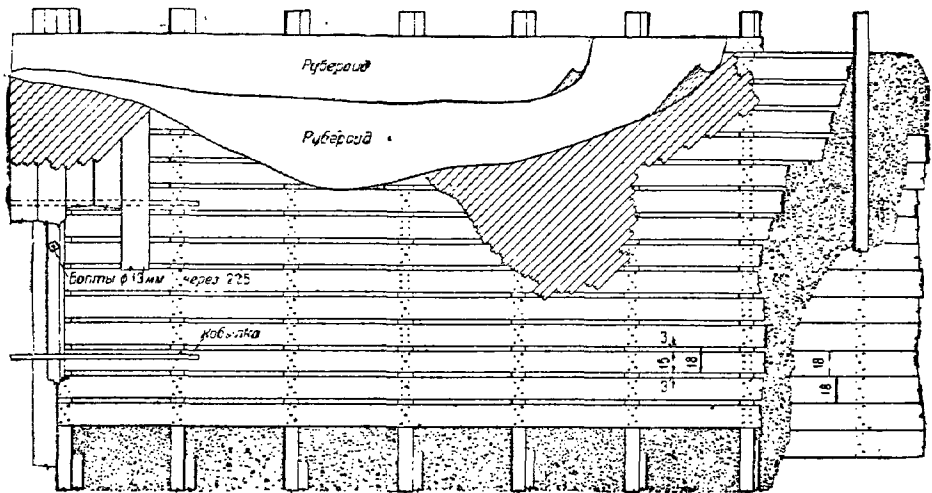
Сдвигающие усилия воспринимаются гвоздями, которые соединяют составное сечение свода

нию между соседними стыками четных и нечетных рядов досок. Расстояние между стыками досок настилов не следует делать меньше трех интервалов между прогонами.

Кроме расчета гвоздей на «срез» обязательна проверка их на выдергивание из прогонов вслед-

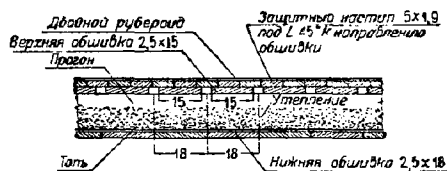


Фиг. 17. Пример двойного гнутого свода. Поперечный разрез свода



Фиг. 18. План свода

в одно целое. Для определения необходимого количества гвоздей их рассчитывают по продольному усилию  $N$  (сдвиг при продольном изгибе),



Фиг. 19. Сечение свода

поперечной силе  $Q$  (сдвиг при поперечном изгибе) и изгибающим моментам  $M$  (перекрытые стыков досок), суммируя полученные значения.

Полученное количество гвоздей распределяют на участке поровну между всеми прогонами.

Практически стремятся к тому, чтобы отдельные расчетные участки соответствовали расстоя-

нию между соседними стыками четных и нечетных рядов досок. Расстояние между стыками досок настилов не следует делать меньше трех интервалов между прогонами.

Чтобы предотвратить вмятие шляпок гвоздей в настилы, не следует при тонких досках применять слишком мощные гвозди. Рекомендуется соотношение диаметра гвоздя ( $d_{гв}$ ) и длины ( $l_{гв}$ ) к толщине настила ( $h$ ):  $d_{гв} =$  от  $1/8$  до  $1/5 h$ ,  $l_{гв} =$  от 4 до 5  $h$ . На фиг. 17—19 дан пример решения двойного гнутого свода пролетом 16 м.

#### 4. Производство работ

При возведении двойного гнутого свода необходимо соблюдение следующих основных требований.

Концы досок настилов должны быть тщательно пригнаны друг к другу в стыках и мауерлату — на опорах; следует избегать перекоса рядов

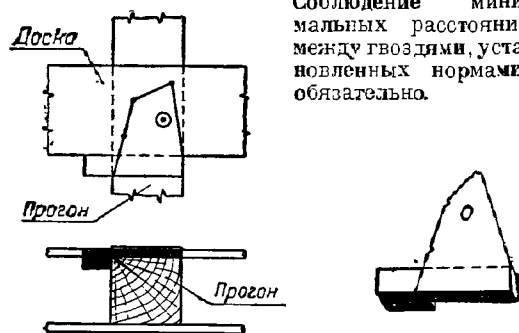
досок во время пришивки настилов; соблюдать вентиляционные щели в верхнем настиле и продухи у карниза, не оставляя их засоренными мусором и щепой; не пришивать доски настилов с «прижимом», т. е. не забивать гвозди наискось в одну сторону.

Наилучшей забивкой гвоздей является забивка по нормали к поверхности свода. Повреждаемость волокон дерева при этом наименьшая.

Следует остерегаться применения гвоздей с уменьшенной шляпкой. Заглубление шляпок гвоздей в доски не должно быть больше 1 мм.

Забивку гвоздей рекомендуется делать по шаблону (фиг. 20).

Соблюдение минимальных расстояний между гвоздями, установленных нормами, обязательно.

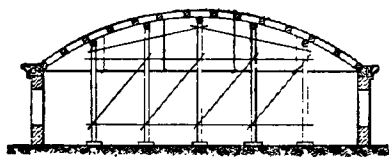


Фиг. 20. Шаблоны для забивки гвоздей

Следует особенно остерегаться раскалывания концов досок в стыках и у опор. В случае невозможности выдержать в этих местах нормальные расстояния для гвоздей производят предварительное рассверливание отверстий и заменяют гвозди шурупами.

Установка затяжек и подтягивание их должны быть произведены до раскружаливания свода. Во время выравнивания затяжек им придают небольшой подъем к середине пролета (не более  $\frac{1}{200}$  пролета).

Детали затяжек и подвесок должны быть тщательно продуманы и хорошо выполнены, так как плохое выполнение и небрежная установка их



Фиг. 21. Возведение свода на лесах

чрезвычайно портят общий вид покрытия. Это относится как к грубым, тяжелым муфтам затяжек, так и к стержням подвесок, сделанным из кривой нерасправленной проволоки с загнутыми от руки нижними концами.

Порядок возведения свода зависит от его конструкции и от принятого способа производства работ.

### 1) Возведение свода на лесах (фиг. 24)

Этот способ применяется в случае малой высоты, малой длины и большой ширины (пролета) перекрываемого помещения.

Деревянные конструкции

Леса, на которых сшивают свод, делают из нескольких рядов стоек, установленных вдоль помещения. По верху стоек укладываются насадки с таким расчетом, чтобы верхние грани их совпадали с нижней поверхностью будущего свода. Рядов стоек может быть сделано 3—5—7 в зависимости от величины пролета.

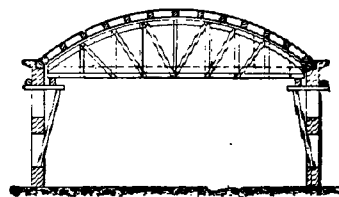
Вдоль по стенам кладутся мауэрлаты с приболченными к ним крайними прогонами. По насадкам стоек укладывается нижний настил свода. Расстилается слой изоляционной бумаги, размечаются и устанавливаются прогоны и снизу забиваются гвозди. Между прогонами укладывается изоляция. Сверху пришивается верхний настил.

В случае применения рубероидного ковра нашивают по верхнему настилу еще защитную обшивку из узких сухих досок (50 × 19 мм), покрывают защитный настил клебемассой и настилают рубероид. Затем устанавливают затяжки и убирают леса,

### 2) Возведение свода на кружалах

Возведение свода на кружалах применяется при большой высоте помещения (фиг. 22).

Если длина помещения невелика, применяют постоянные кружала. При большой длине помещения кружала делают передвижными по особым прогонам, уложенным на стойках или кровштейнах вдоль стен. На каждую одновременно сшиваемую секцию свода устанавливают по одной паре кружал, так что расстояния между ними составляют около 3—4 м.



Фиг. 22. Возведение свода на кружалах

Кружала огибаются сверху доской плашмя, которая впоследствии войдет в состав нижнего настила свода. Поверх этих досок производится разметка и установка прогонов. Нижний настил подшивается по прогонам снизу.

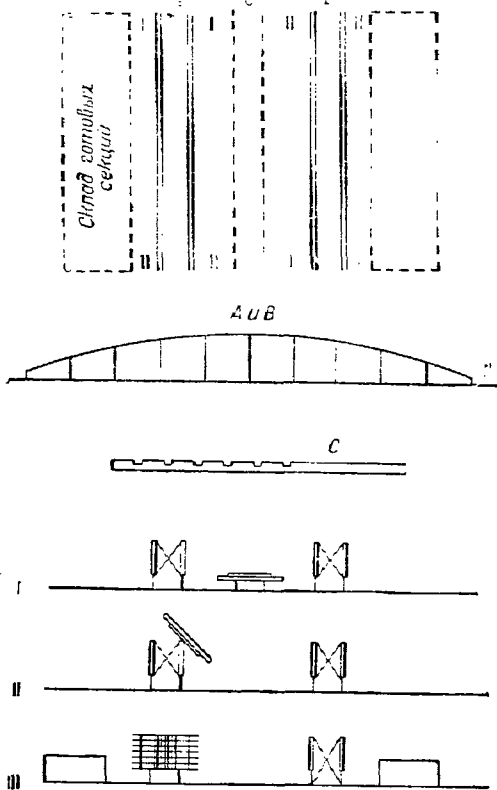
В остальном производство работ совершается так же, как описано в первом способе, за исключением лишь того, что устроить сплошной изоляционный слой по нижнему настилу невозможно. Вместо него делают полосовую изоляцию между прогонами, как указано выше на фиг. 13.

Передвижку кружал в сторону нового участка делают, начиная с первой кружалы (считая по направлению устройства покрытия). Для этого ставят сзади кружалы затяжку, подтягивают и выравнивают ее на подвесках. Опускают кружала и передвигают их вдоль свода до следующей кружалы. Затем ставят затяжку, находящуюся у второй кружалы фермы.

Если между кружалами должна быть установлена промежуточная затяжка, то при недостаточной прочности стен принимают меры для укрепления мауэрлата во время передвижки кружал. По установке последней затяжки обе кружалы передвигаются дальше для сшивки на них соседнего участка.

### 3) Сборка свода из готовых секций

Сборка свода предусмотрена из стандартных элементов, для чего свод разбит на секции двух типов, каждый длиной около  $\frac{1}{2}$  пролета и шири-



Фиг. 23. Заготовка секций сборного свода

ною около 3 м.

Процесс сборки может быть следующим (фиг. 23)<sup>1</sup>:

а) в особые вырезы сборных реек укладывают продольные бруски (прогоны), что устраняет

всякую разбивку и исключает возможность отклонений в размерах отдельных стандартных секций;

б) по брускам подшивают толстую изоляцию, поверх которой производят подшивку сплошного нижнего настила, причем стыки досок осуществляют грунтонами, чередующимися по развертке в шахматном порядке;

в) не снимая секцию с реек, к которым она временно прикреплена, поворачивают вокруг большой оси и укладывают на монтажные кружала А или В, после чего снимают с реек и прогибают по форме кружала;

г) производят заклинку поперечных брусков, укладку утепления и паннровку верхнего настила. Затем готовые секции поднимают козлами одновременно с двух сторон и после установки соединяют в ключе при помощи накладок из досок того же сечения.

Ввиду того что первая часть работы по сборке отдельных секций занимает в два раза меньше времени, чем последующие, одна пара реек может обслужить сборку секций двух типов, для чего с обеих сторон места сборки на рейках установлены монтажные кружала.

Связь отдельных секций по линиям поперечных сечений свода осуществляется перегибком прогонов соседних секций друг за друга. Образовавшийся промежуток зашивается четырьмя досками, прибиваемыми одновременно к обеим секциям после установки их.

Указанный метод сборки, устраняя дорого стоящую и обычно выполняемую подшивку нижнего настила над головой, дает возможность вести одновременно работы по кладке стен и заготовке сводов; кроме того можно обойтись без кружал, передвижка которых при значительных пролетах сопряжена с известными трудностями.

Однако метод этот имеет свой недостаток, а именно — отсутствие полной жесткости свода в ключе, приближающее его по схеме к трехшарнирной арке. Кроме того монтаж заготовленных громоздких секций неизбежно сопровождается их деформациями, вызывающими расстройство гвоздевых соединений, что также влияет на снижение жесткости свода.

Инж. В. А. ЗАМАРАЕВ

## II. БЕЗМЕТАЛЛЬНЫЕ КРУЖАЛЬНО-СЕТЧАТЫЕ СВОДЫ

### 1. Общие сведения

Деревянные кружально-сетчатые своды представляют собой пространственную стержневую систему, состоящую из стандартных элементов — «косяков» (фиг. 1).

Своды этой системы с узловыми сопряжениями на самозатягивающихся болтах<sup>2</sup> получили широкое распространение в странах Европы и Америки.

<sup>1</sup> Описание взято из книги В. Д. Цветаева «Автоматическое строительство», 1931 г. Описывается сборка свода пролетом в 25 м.

<sup>2</sup> Изобретатель германский инженер Ф. Цоллингер, см. ТУ в П, «Деревянные конструкции и сооружения» (1931 г.).

В СССР разработана система безметалльных сетчатых сводов с узловыми сопряжениями на врубках<sup>3</sup>.

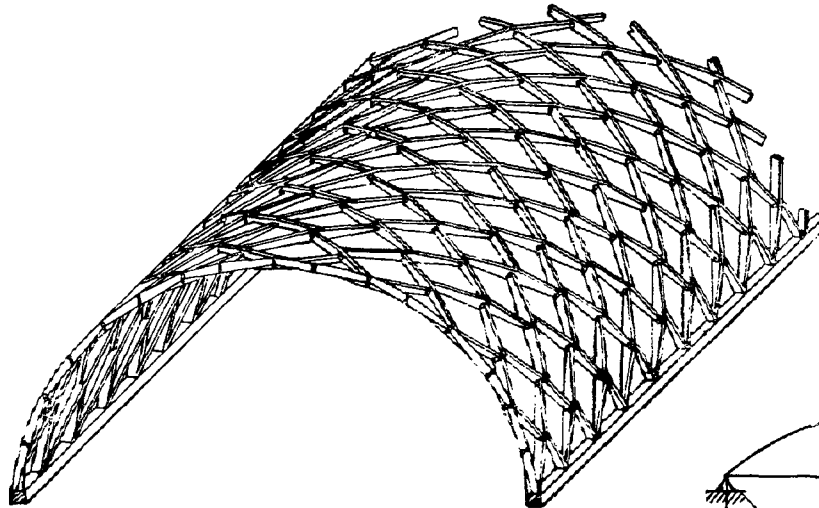
Возможность индустриального изготовления косяков, легкая транспортабельность их, простота монтажа и демонтажа и архитектурно-эстетические преимущества сетчатых сводов должны обеспечить им массовое применение в СССР.

До настоящего времени эти своды изготовлялись в Союзе кустарными способами и поэтому применялись лишь в единичных случаях. Последнее объясняется также и тем, что методы проектирования безметалльных сводов были недостаточ-

<sup>3</sup> Авторское свидетельство принадлежит инж. С. И. Песельнику.

но разработаны (особенно в части геометрического расчета).

В нормальной схеме сетчатого покрытия свод опирается на продольные стены и на жесткие фронтоны (диафрагмы), расположенные на расстоянии  $B < 2,5S$ , где  $S$  — длина дуги свода.



Фиг. 1. Сетчатый свод из косяков цельного сечения

При большой длине свода между фронтонами ( $B > 2,5S$ ) целесообразно устраивать промежуточные жесткие диафрагмы, так как в противном случае свод работает только в направлении своего пролета как арка и следовательно преимущества пространственной системы при этом в значительной мере утрачиваются.

Безметаллические своды из косяков цельного сечения высотой 12 — 25 см могут применяться для перекрытия пролетов от 8,0 до 20,0 м. Косяки свода изготавливаются из досок длиной 2—3 м.

Основной формой сетчатых покрытий является цилиндрический свод. Все остальные типы сводов (стрельчатые, крестовые, парусные) состоят из отдельных цилиндрических поверхностей и потому могут рассматриваться как производные цилиндрического свода.

Для цилиндрических сводов с затлжками (фиг. 2) подъем  $\frac{f}{l}$  рекомендуется назначать в пределах от  $\frac{1}{7}$  до  $\frac{1}{5}$ ; при устройстве контрфорсов, воспринимающих распор свода, значение  $\frac{f}{l}$  определяется в каждом отдельном случае сравнительными подсчетами.

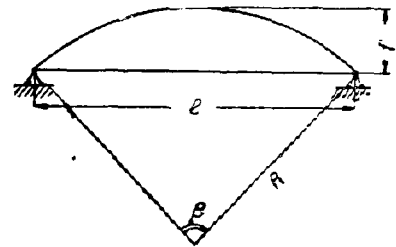
Величину подъема  $\frac{f_0}{l_0}$  цилиндрических частей стрельчатого свода (фиг. 3) следует назначать в пределах от  $\frac{1}{10}$  до  $\frac{1}{15}$ . Общий подъем стрельчатых сводов составляет обычно  $\frac{f}{l} \geq \frac{1}{3}$ .

Преимущественной областью применения сетчатых сводов являются покрытия, для которых исключена возможность больших односторонних отложений снега, т. е. покрытия главным образом однопролетных зданий. Во всех случаях, когда интенсивность односторонней снеговой нагрузки может значительно превосходить интенсивность равномерной расчетной снеговой нагрузки, а так-

же при наличии в покрытии больших подвесных грузов, своды этой системы неадекватны.

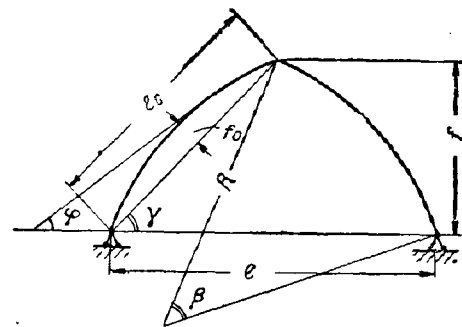
Конструкция сетчатых сводов допускает устройство кровли любого типа, но обязательно по сплошной продольной обшивке или обрешетке поверх свода. Вследствие отделения несущей конструкции свода от ограждения (кровли) опасность загнивания сетки в значительной мере устраняется, что является большим преимуществом сетчатых сводов перед другими пространственными системами деревянных конструкций.

Освещение зданий с сетчатыми покрытиями может осуществляться путем остекления отдельных участков или полос сетки свода (фиг. 4) без устройства каких-либо надстроек для фона-



Фиг. 2. Цилиндрический свод

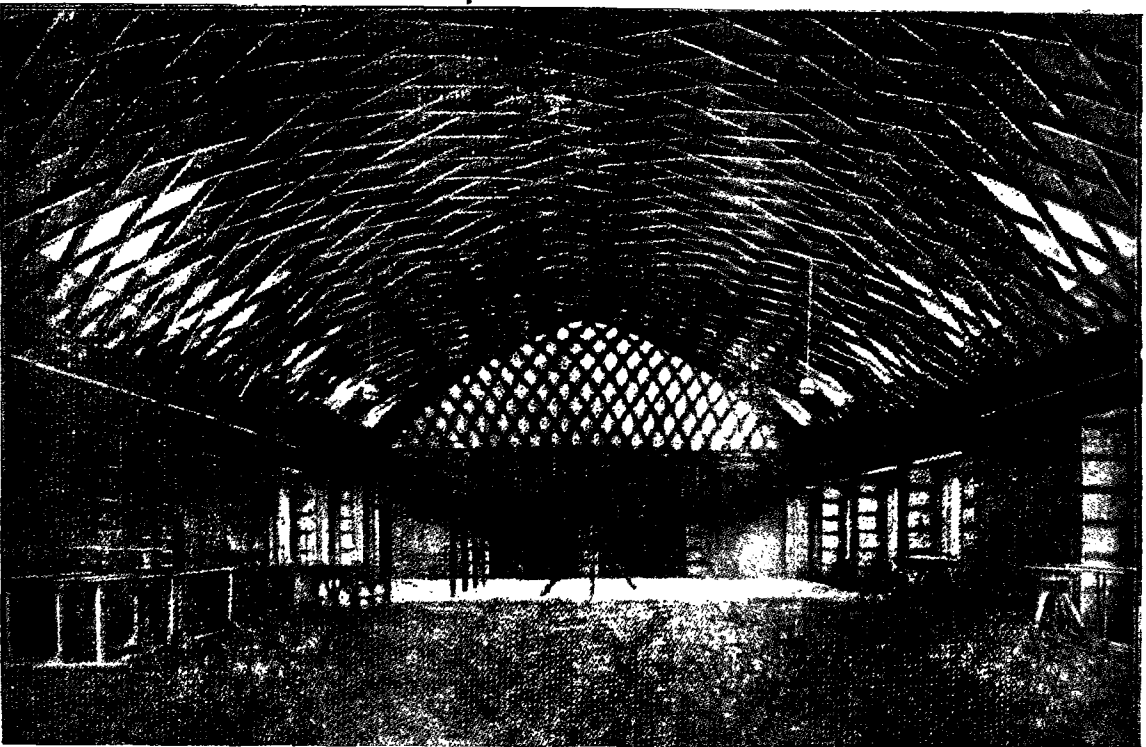
рей. Удачным размещением световых полос в покрытии может быть достигнуто хорошее решение интерьера. Образцы таких решений в большом количестве даны в Германии и в США.



Фиг. 3. Стрельчатый свод

Экономические характеристики безметаллических сетчатых сводов вследствие того, что производство их передано на заводы строительной индустрии только в 1936 г., пока еще не выявлены.

Несомненно однако, что конструктивные, производственные и эксплуатационные достоинства сетчатых покрытий и в частности безметаллических сетчатых покрытий ставит их на одно из первых мест среди прочих систем плоскостных и пространственных деревянных конструкций.



Фиг. 4. Остекление сетки свода

## 2. Конструкция

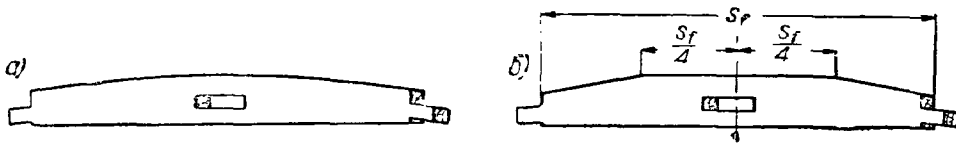
### 1) Форма косяков

В зависимости от формы поперечного сечения свода (дуга круга или правильный многоугольник) косяки сетки могут быть с криволинейной или ломаной верхней кромкой (фиг. 5).

Криволинейное очертание верхней кромки рекомендуется для тех случаев, когда материал

устраивается гнездо, а по концам двух примыкающих к нему (у середины его длины) — шпильки, входящие в гнездо свозного косяка.

Гнезду придается простейшая форма (фиг. 8), при которой форма шпильки получается однако сравнительно сложной. Возможно и другое решение: шпильке придается простейшая форма и соответственно усложняется форма гнезда. Последнее решение хуже и поэтому в дальнейшем не рассматривается.



Фиг. 5. Очертания кромок косяков

кровельного ковра не может следовать за многогранной поверхностью свода (например для асбестовых кровель).

### 2) Узлы сетки

Основной конструктивной деталью кружально-сетчатых сводов является узловое сопряжение косяков в месте их пересечения.

В безметалльных сводах это сопряжение осуществляется врубкой. Узел образуется тремя косяками (фиг. 6 и 7) — в сквозном косяке

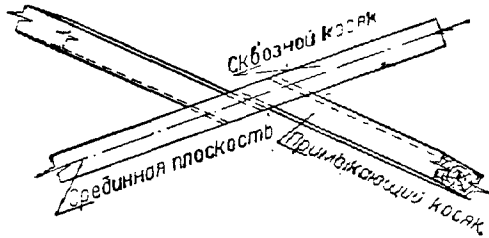
гнездо располагается точно по середине длины косяка и может быть прямым или косым (фиг. 8).

Косое гнездо меньше ослабляет косяк и потому более рационально. Высоту гнезда рекомендуется назначать  $l$  равной  $0,3h$ , где  $h$  — полная высота косяка. Нижняя грань гнезда должна располагаться в пределах  $\Delta h = 0,275 - 0,35h$ .

Существуют два варианта сопряжения косяков. Вариант 1 (фиг. 6). Оси примыкающих в узле косяков смещены примерно на толщину

<sup>1</sup> Рекомендуемые здесь размеры установлены при разработке сетчатых сводов в Промстройпроекте.

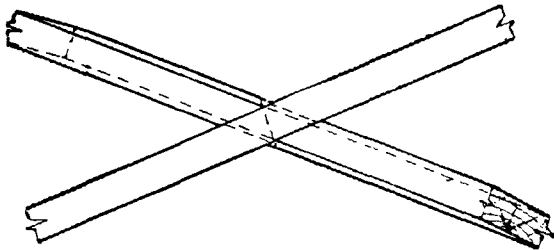
косыка (нецентрированная сетка); нижние смежные ребра шпиров этих косыков располагаются на одной прямой, проходящей через центр нижней грани гнезда, расположенной нормально к плоскости сквозного косыка.



Фиг. 6. Узел нецентрированной сетки

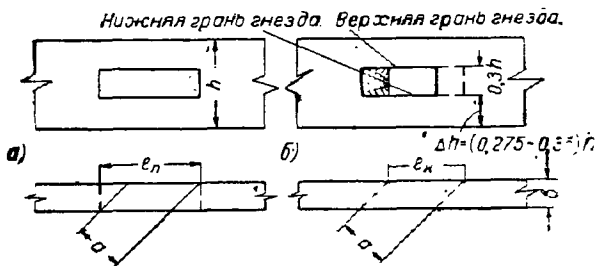
Вариант II (фиг. 7). Оси обоих примыкающих косыков почти совпадают с центром нижней грани гнезда (центрированная сетка).

При выборе конструкции узла следует руководствоваться следующим.



Фиг. 7. Узел центрированной сетки

Узел по варианту I проще в производстве и более удобен при монтаже; наличие в узле эксцентриситета примыкающих косыков не вы-



Фиг. 8. Формы гнезда: а — прямое, б — косое

зывает возражений, так как возникающие при этом в сквозном косыке моменты невелики и практически не уменьшают его прочности. В узлах этого типа шпиров примыкающих косыков имеют вполне достаточную площадь опирания. К числу недостатков варианта I (не проверенных пока опытным путем при острых углах между косыками) следует отнести большую длину гнезда и связанную с этим опасность уменьшения прочности сквозного косыка (на расщепление по гнезду).

В ряде случаев, узел по варианту II может оказаться более приемлемым по архитектурным соображениям, но он менее удобен при монтаже и имеет более сложную форму шпир; в конструктивном отношении этот узел решается удачно

только при угле между косыками, равном или близком к  $45^\circ$ . При других углах приходится допускать очень острые концы шпиров; стремление пригупить их приводит к значительному уменьшению длины шпиров, что тоже нежелательно.

### 3) Размеры косыков

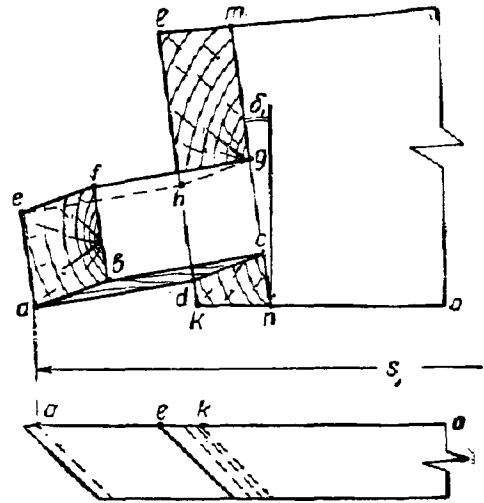
При указанных выше конструкциях узлов сетки высота  $h$  косыка должна быть не более  $\frac{1}{15}$  его длины; предпочтительнее применять косыки с отношением  $\frac{S_k}{h} > 10$  (где  $S_k$  — длина косыка), так как при этом понижается прочность их на расщепление по гнезду.

Кроме того высоту  $h$  следует назначать не менее  $\frac{1}{100}$  от пролета свода, так как при меньших отношениях  $\frac{l}{h}$  устойчивость свода получается недостаточной.

Наиболее рационально соотношение высоты  $h$  и толщины  $b$  косыка:  $\frac{h}{b} = 3 - 4$ .

### 4) Шпиров косыков нецентрированной сетки<sup>1</sup>

Плоскости шпир  $abcd$  (фиг. 9) и  $efgh$  совмещены в узле с нижней и верхней гранями гнезда, а плоскости  $kden$  и  $hlmq$  — с боковой гранью — пластью косыка.



Фиг. 9. Форма шпир нецентрированной сетки

Нижняя точка  $a$  шпир располагается на продолжении ребра  $ok$ , что обеспечивает наибольшее отношение длины  $S_k$  косыка к его высоте  $h$ .

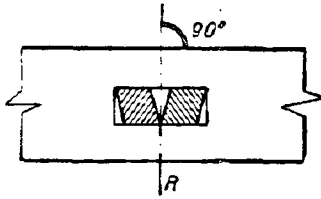
Ребра  $ad$  обоих шпиров узла, как уже указывалось выше, совпадают в одну прямую на нижней грани гнезда, а смежные боковые грани  $adhe$  этих шпиров образуют небольшой угол; положение шпиров в гнезде показано на разрезе (фиг. 10) сквозного косыка срединной плоскостью (фиг. 6 и 7); там же указано положение нормали  $R$  к нижней кромке косыка. Эта нормаль  $R$  проходит через середину ребра  $ad$  (фиг. 9).

<sup>1</sup> Указанное здесь расположение шпиров рекомендуется Промстройпроектом.



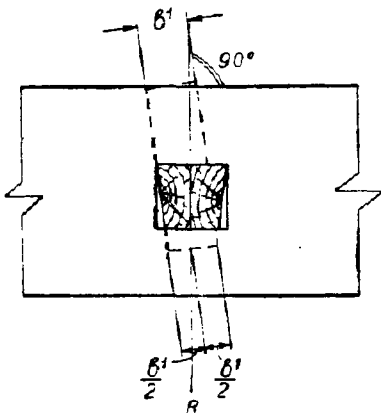
5) Шины косяков центрированной сетки

Форма шипов косяков центрированной сетки построена по тому же принципу, что и в не-

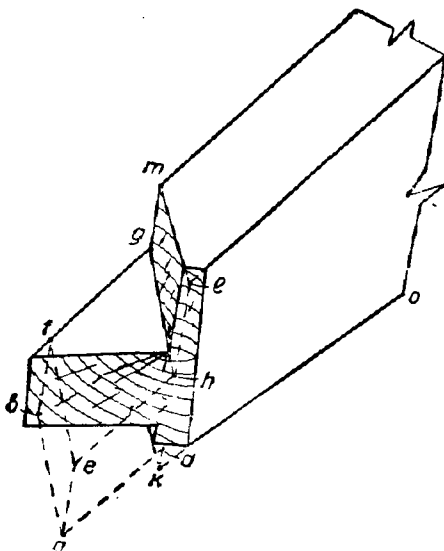


Фиг. 10. Положение шипов в гнезде. Разрез сквозного косяка средней плоскостью

центрированной сетке, но с той лишь разницей, что эти шины соприкасаются в гнезде не нижними



Фиг. 11. Положение шипов в гнезде. Разрез сквозного косяка средней плоскостью. Пунктиром показан след контура прижимающего косяка



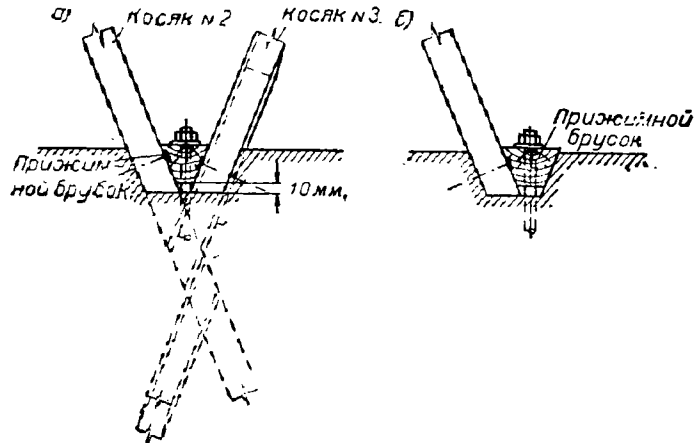
Фиг. 12. Форма шипа центрированной сетки (пунктиром показан шип нецентрированной сетки)

ребрами, а всей плоскостью торцевого косога среза (фиг. 11).

Шип по фиг. 12 может быть получен из шипа по фиг. 9, если этот последний несколько удлинить и обрезать по плоскости, расположенной под некоторым углом к оси косяка, как это показано на фиг. 12. Эта секущая плоскость проходит в узле через нормаль R (фиг. 11), пересекающуюся кроме того со средней линией нижней кромки косяка (фиг. 11).

6) Опорные узлы

В опорных узлах косяки врубаются на глубину не менее 10 см в мауэрлаты, с которыми они соединяются гвоздями, прижимными брусками и болтами диаметром 12—19 мм. Опорные плоскости косяков совпадают с направлением радиуса и образующей свода. Оси сходящихся



Фиг. 13. Конструктивные схемы опорных узлов

в опорном узле элементов (косяков, затяжки и опоры) должны быть центрированы; при этом рекомендуется принимать за расчетную ось свода окружность, проходящую в узлах сетки через середину высоты сквозных косяков.

Возможны два варианта конструкции опорного узла.

В а р и а н т I (фиг. 13,а). Опорные торцы смежных косяков располагаются на минимальном расстоянии друг от друга. Это расстояние должно быть таким, чтобы оба торца опирались полной своей площадью на мауэрлат; форма торцов косяков, а также и вся конструкция узла получится при этом наиболее простой и надежной. Такую конструкцию узла следует поэтому считать основной.

В а р и а н т II (фиг. 13,б). Опорные торцы смежных косяков располагаются на произвольном расстоянии друг от друга таким образом, чтобы оба торца опирались на мауэрлат полной своей площадью, не пересекаясь в пределах опорной площадки. Эта конструкция узла может иметь место в тех случаях, когда свод собирается из косяков, изготовленных не для данного пролета покрытия, но образующих сетку, подходящую для него по радиусу и размерам (например при использовании имеющихся на заводе или стройплощадке стандартных косяков).

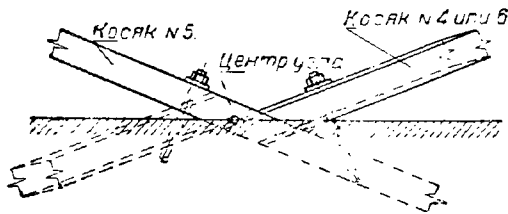
В опорных узлах обоих вариантов между прижимным брусом и опорной площадкой врубки мауэрлата оставляется зазор (примерно 10 мм), допускающий последующее натяжение узла при эксплуатации покрытия.

Вместо устройства врубок в мауэрлате допускаются отеска (или опилование) его на глубину врубки по всей длине и замена отесанной части досками (толщиной не менее 10 см), соединяемыми с мауэрлатом гвоздями, а в местах узлов — болтами.

В трехшарнирных сводах узлы в коньке конструируются так же, как опорные по варианту I. Эти узлы рекомендуется располагать точно один против другого, чтобы их можно было стянуть одним болтом и не нагружать коньковый брусгибающими усилиями. Коньковые брусья могут быть цельного сечения или составные из двух одинаковых по размерам половин.

7) Торцевые узлы

В целях упрощения расчета сетки торцевые узлы, а также узлы сопряжения косяков с жесткими диафрагмами рекомендуются конструировать так, чтобы центры их располагались в плоскости примыкания косяков к фронтону или диафрагме (фиг. 14). Возможно однако и другое



Фиг. 14. Схема сопряжения косяков с обвязочной аркой

положение центра узла, но и в этом случае в целях получения наименьшего числа типов косяков узлы противоположных торцов следует конструировать одинаково.

Концы каждого косяка должны быть соединены с диафрагмой или фронтоном стяжным болтом диаметром 16—19 мм; при высоте  $h_0$  торцов косяков, равной или большей 18 см, на каждый конец следует ставить по два болта.

8) Сетка свода (фиг. 15)

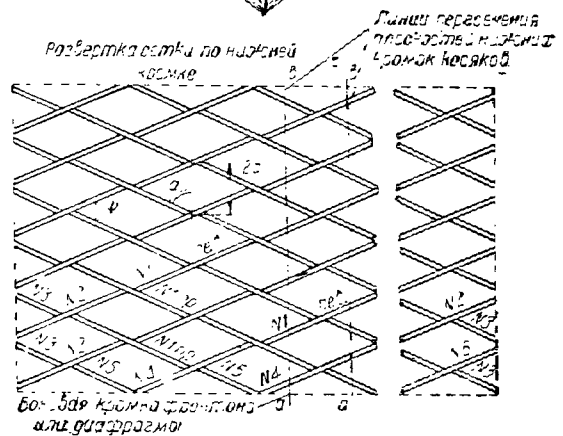
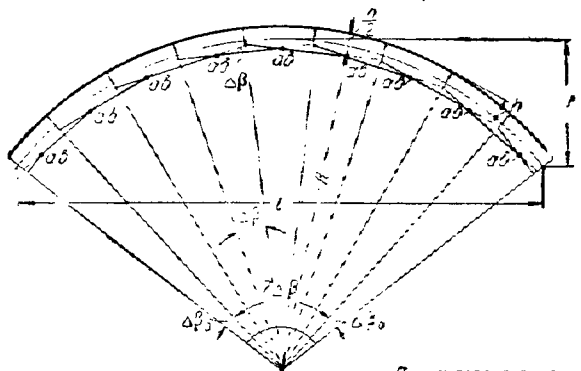
Сетка свода характеризуется: 1) углом  $\alpha$  между нижними ребрами косяков и образующей свода, 2) расстоянием  $2C$  вдоль образующей свода между осями одинаково направленных косяков, называемым шагом косяков, 3) радиусом  $R$  поперечного сечения, 4) центральным углом  $\beta$ , 5) углом поворота  $\Delta\beta$  плоскостей нижних кромок пересекающихся косяков.

Величины  $R$  и  $\beta$  определяются в цилиндрических сводах пролетом  $l$  и подъемом свода  $f$ , а в стрельчатых сводах кроме того длиной  $l_0$  хорды и подъемом  $\frac{f_0}{l_0}$  цилиндрических частей.

Угол  $\alpha$  сетки может изменяться от 75° до 45°. что соответствует углам  $\varphi$  между косяками 30°—90°. При назначении угла необходимо

учитывать отношение  $\frac{B}{S}$  расстояния  $B$  между жесткими диафрагмами или торцевыми стенами к длине  $S$  дуги свода. При  $\frac{B}{S} > 2,5$  экономически выгоднее острые углы ( $\varphi = 30^\circ - 45^\circ$ ); при меньшем отношении  $\frac{B}{S}$  величину угла  $\varphi$  следовало бы увеличить (например при  $B = S$  угол  $\varphi = 90^\circ$ ), однако недостаточных опытных данных, позволяющих установить зависимость между этими величинами, пока нет и общепринятой

Схема поперечного сечения свода



Фиг. 15. Основные размеры сетки

метод статического расчета сетчатых сводов этой зависимости не учитывает. Несмотря на это, нужно принимать во внимание, что увеличение угла  $\varphi$  при уменьшении  $\frac{B}{S}$  влечет за собой увеличение запаса прочности свода.

Углы  $\varphi$  меньше 45° для безметалльной сетки нежелательны по конструктивным соображениям, так как при таких углах получается большая длина гнезда (особенно при большой толщине косяков) и острые углы шпилей косяка.

При малом радиусе  $R$  сетки в целях удлинения косяков может быть допущено увеличение угла  $\varphi$  сверх 45°.

В обычных случаях угол  $\varphi$  следует назначать около 45°.

Шаг косяков ( $2C$ ) определяется при соблюдении требования  $\Delta h = 0,275 - 0,35 h$  (см. выше) в зависимости от радиуса  $R$ , угла  $\alpha$  и высоты  $h$  косяка.

Шаг косяков должен удовлетворять экономичности конструкции как самой сетки, так и кронли (устраиваемой по обшивке поверх свода). Необходимо также учитывать, что при нормальной конструкции торцевых узлов сетки (см. выше) шаг косяков должен делить расстояние (в свету) между диафрагмами (фронтами) на равное число частей.

Указанные условия обычно соблюдаются при шаге  $2C < 1,5 м$ .

Углы  $\Delta\beta$  поворота плоскостей нижних кромок пересекающихся косяков делит центральный угол  $\beta$  свода на несколько частей. Предпочтительнее четное число углов  $\Delta\beta$ , так как при этом противоположные опорные узлы располагаются почти в одном поперечном сечении свода (симметрично); кроме того при нечетном числе частей увеличивается на два (сверх нормального) число типов косяков сетки.

Для получения рекомендуемой выше конструкции опорных узлов крайние углы  $\Delta\beta_0$  должны быть меньше углов  $\Delta\beta$ .

Число типов косяков безметаллической сетки равно: при четном числе углов  $\Delta\beta$  — семи, при нечетном числе углов  $\Delta\beta$  — десяти, из коих два являются основными. В первом случае это имеет место при условии, что из углов, образуемых обвязочными брусками и арками, входят косяки (фиг. 15).

Указанное число типов получается в том случае, когда расстояние (в свету) между фронтами и диафрагмами кратно шагу косяков  $2C$ .

### 9) Жесткие диафрагмы

Жесткой диафрагмой называется конструкция, воспринимающая часть действующей на свод нагрузки и повышающая жесткость свода.

В обычных случаях такими конструкциями являются торцевые стены перекрываемого здания или их верхняя часть — фронтон (торец самого свода).

Считается, что диафрагмы оказывают влияние на среднюю часть свода (между диафрагмами) при расположении их на расстоянии  $B < 2,5S$  ( $S$  — длина дуги свода).

Жесткие фронтоны конструируются, как правило, в виде двух- или трехслойных арок Делорма (служащих обвязкой для свода), поддерживаемых по длине пролета стойками и раскосами, опирающимися на торцевые стены или (при каркасных деревянных стенах) непосредственно на фундаменты.

Сплошные каменные торцевые стены полностью заменяют собой фронтоны; в этом случае обвязочная арка Делорма опирается непосредственно на стены.

При отсутствии в здании торцевых стен вместо несущего каркаса могут быть применены сегментные фермы.

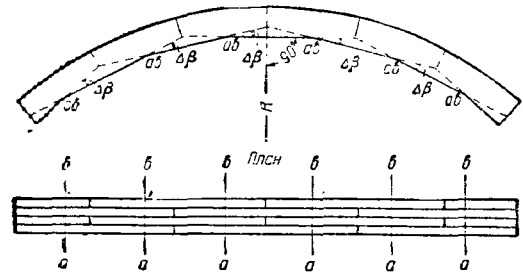
Промежуточные диафрагмы могут быть выполнены в виде арок или ферм с верхним поясом кругового очертания. В зависимости от архитектурных требований можно применять деревянные сегментные фермы или фермы с металлической решеткой и приподнятым нижним поясом.

Уровень верхней кромки несущей конструкции диафрагмы рекомендуется совмещать с уровнем верхней кромки сетчатого свода, а соединение косяков с диафрагмой осуществлять так же, как и в торцевых узлах (фиг. 14).

## 3. Геометрический расчет<sup>1</sup>

### 1) Принципы образования кружально-сетчатых сводов

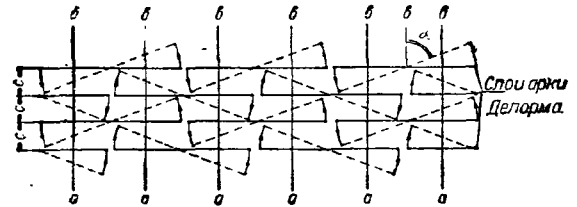
Кружально-сетчатый свод можно рассматривать как развитие многослойной арки Делорма, в которой стыки косяков четных слоев расположены по середине длины косяков нечетных слоев (фиг. 16).



Фиг. 16. Арка Делорма

Построение сетчатого свода проще всего представить следующим образом (фиг. 17):

1) слои арки раздвигаются по направлению образующей на некоторую величину  $C$ ;



Фиг. 17. Схема образования сетчатого свода из арки Делорма. Стрелками показано направление вращения косяков арки

2) все косяки четных слоев поворачиваются на угол  $90^\circ - \alpha$  в одном направлении вокруг нормали  $R$  (к нижней кромке), проходящей через середину длины и толщины косяка (фиг. 16).

Косяки нечетных слоев арки поворачиваются на тот же угол, но в обратном направлении.

Вследствие того что поворот косяков происходит вокруг нормалей  $R$ , многогранник, образуемый плоскостями нижних кромок косяков арки (фиг. 16), остается при вращении косяков без изменения и прямы  $ab$  — ребра многогранника (фиг. 16) — занимают в сетчатом своде точно такое же положение, как и в арке.

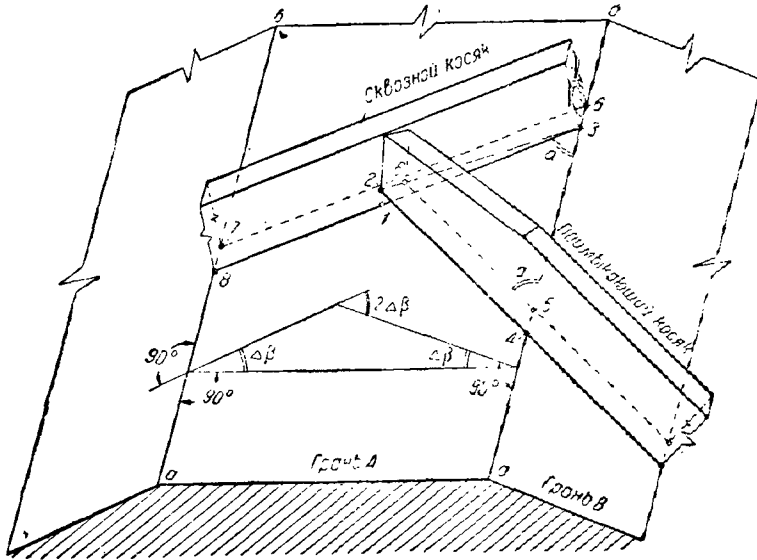
Учитывая это, можно представить образование свода в иной последовательности, а именно:

1) косяки свода укладываются нижней кромкой на одной плоскости в положении, указанном на фиг. 17 пунктиром, и закрепляются на этой плоскости средней половиной своей длины, т. е. в пределах между двумя смежными прямыми  $ab$ ;

2) плоскость вместе с расположенными на ней косяками превращается путем перегиба по линиям  $ab$  в правильный многогранник с ребрами  $ab$  и внешними углами  $\Delta\beta$  (фиг. 18).

<sup>1</sup> Разработан в ОТИС Промстройпроекта автором статьи.

При указанном принципе образования сетчатого свода, имеющего в поперечном сечении очертание по дуге или правильному многограннику, получаются два типа стандартных косяков, зеркально подобных и соответственно одинаковых по размерам.



Фиг. 18. Положение косяков в пространстве. Второй примыкающий косяк на фигуре не показан. Ребра  $ab$  см. на фиг. 16 и 17. Прямая 2—3 является следом продолженной грани  $B$  на плоскости сквозного косяка

Косяки, повернутые вокруг нормали по ходу часовой стрелки (фиг. 17), принято называть „правыми“, а повернутые против часовой стрелки — „левыми“.

Крайние косяки, примыкающие к обвязочным брусам и к торцам свода, получают из основных путем обрезки одного или обоих концов.

2) Метод геометрического расчета

Согласно ТУ и Н 1931 г. на деревянные конструкции (§ 224, 225) геометрический расчет кружально-сетчатых сводов производится по развернутой поверхности свода без учета угла наклона боковых граней примыкающих косяков к расчетной нормали сквозного косяка (фиг. 10, 11).

Вследствие неучета этого угла наклона расчетные формулы, приведенные в ТУ и Н, являются приближенными.

Результаты сравнения истинной формы торцов косяков и той, которая получается при расчете по формулам ТУ и Н, показывают, что приближенный геометрический расчет дает в ряде случаев большие отклонения, практически недопустимые. В связи с этим ниже приводится точный геометрический расчет всех элементов свода.

Точный расчет выполнен на основании теорем элементарной геометрии в пространстве.

В соответствии с указанным выше принципом построения сетчатого свода геометрический расчет может быть сведен к решению задачи о пересечении двух плоскостей (боковых граней косяков), наклоненных под углом  $\alpha$  к образующей свода

и нормально расположенных на смежных гранях многогранника (фиг. 18).

Наиболее простое и наглядное решение задачи о пересечении плоскостей получается при рассмотрении положения нижних (а не верхних) кромок косяков в пространстве, расположенных на гранях воображаемого многогранника<sup>1</sup>.

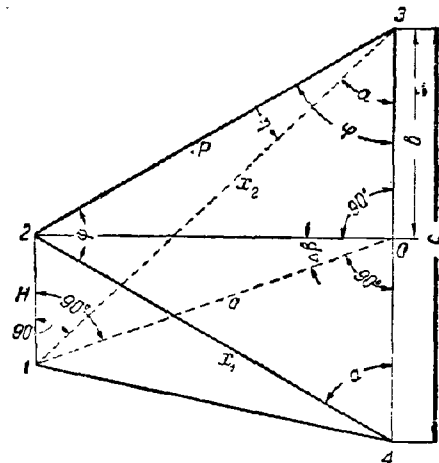
Из построения фиг. 18 видно, что сквозной косяк расположен и закреплен неподвижно на грани  $A$ , а примыкающий косяк — на грани  $B$ , вместе с которой он поворачивается вокруг ребра  $ab$  на угол  $2\delta$ ; точки 4 и 5 примыкающего косяка, находящиеся на ребре  $a'b'$ , остаются при этом повороте неподвижными.

3) Выводы основных формул для расчета сетки

а) Центрированная сетка (фиг. 7)

Для большей ясности и обозначения расчетных величин на фиг. 19 изображена и утрированном виде трехгранная пирамида 1—2—3—4, имеющаяся на фиг. 18, и на ней указаны все необходимые величины.

Из рассмотрения фиг. 18 и 19 следует, что теоретическая длина косяка по срединной плоскости (параллельной плоскостям косяка) между нормальными  $R$  может быть выражена через отрезки  $X_1 = (2-4)$  и  $X_2 = (1-3)$ ,



Фиг. 19. Обозначения величин пирамиды 1—2—3—4 фиг. 18

которые определяются из треугольников 2—3—4 и 1—3—4.

В треугольнике 2—3—4 известны длина стороны 3—4 =  $C$  и угол  $\alpha$ , следовательно, необходимо

<sup>1</sup> Метод предложен ниже В. Г. Писчаковым.



нях косяков с ребрами 1—4 и 6—7 (вместо 1—4 и 3—8).

Эта пирамида подобна той, которая изображена на фиг. 19, и отличается от нее длинами сторон — ребер.

Длине  $C$  пирамиды 1—2—3—4 соответствует:

$$C_1 = C + \frac{b}{\sin \alpha},$$

размерам  $H$ ,  $X_1$  и  $X_2$  соответствуют размеры  $\Delta h$ ,  $X'_1$  и  $X'_2$ .

В соответствии с этим высота  $\Delta h$  найдется из выражения:

$$\Delta h = X'_1 \sin \alpha \sin \Delta\beta,$$

но так как

$$X'_1 = \frac{C_1}{\cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} = \frac{C + \frac{b}{\sin \alpha}}{\cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)}, \quad (7')$$

то

$$\begin{aligned} \Delta h &= \frac{C + \frac{b}{\sin \alpha}}{\cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} \sin \alpha \sin \Delta\beta = \\ &= \left( C + \frac{b}{\sin \alpha} \right) \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2}. \end{aligned} \quad (16)$$

Угол  $\Delta\beta$  определится из ф-лы (16):

$$\operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2} = \frac{\Delta h}{\left( C + \frac{b}{\sin \alpha} \right) \operatorname{tg} \alpha}. \quad (17)$$

Зависимость между высотой  $\Delta h$  и другими величинами сетки может быть установлена следующим образом.

Длина  $X_2$  определится по аналогии с ф-лой (12) из выражения:

$$X_2 = \frac{(R - 0,5h) \operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2}}{\sin \alpha}. \quad (18)$$

По ф-ле же (10):

$$X_2 = X_1 \cos \Delta\beta = \frac{G}{\cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} \cos \Delta\beta;$$

следовательно:

$$\frac{R - 0,5h}{\sin \alpha} \operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2} = \frac{G}{\cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} \cos \Delta\beta.$$

Подставляя в это выражение вместо  $\operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2}$  его значение по ф-ле (17), получим:

$$\frac{R - 0,5h}{\sin \alpha} \cdot \frac{\Delta h}{\left( C + \frac{b}{\sin \alpha} \right) \operatorname{tg} \alpha} = \frac{G \cos \Delta\beta}{\cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)}.$$

Решая это уравнение относительно  $C$ , найдем:

$$C = \frac{V(b \cos \Delta\beta \operatorname{tg} \alpha)^2 + 4\Delta h (R - 0,5h) (1 + \cos \Delta\beta) \cos \Delta\beta \sin^2 \alpha - b \cos \Delta\beta \operatorname{tg} \alpha}{2 \cos \Delta\beta \operatorname{tg} \alpha}.$$

Для приближенных расчетов последняя формула может быть упрощена. При нормированной величине

$$\Delta h = (0,275 - 0,35) h,$$

приняв:

$$\Delta h = 0,3h, \quad b = 0,3h \quad \text{и} \quad \cos \Delta\beta = 1,$$

с достаточной для практики точностью получим:

$$C = 0,547 \frac{V(2R - h)h}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{0,15h}{\sin \alpha}. \quad (19)$$

Имея величины  $R$ ,  $h$  и  $\alpha$ , можно найти по ф-ле (19) приближенное значение  $C$ , соответствующее  $\Delta h = 0,3h$ . Это значение  $C$  необходимо для определения расчетных моментов и нормальных сил в полосе свода шириной  $2C$  и для подбора по ним толщины  $b$  косяка.

Точное значение  $C$  находится по ф-ле (15) после того, как установлена величина угла  $\Delta\beta$ .

Предварительное определение угла  $\Delta\beta$  производится по ф-ле (17).

Зависимость между геометрическими характеристиками центрированной сетки свода вполне определяется ф-лами (13), (14), (15), (16), (17) и (19). Порядок расчета сетки по этим формулам, вообще говоря, может быть любым.

б) Нецентрированная сетка (фиг. 6 и 10)

Ф-лы (1)–(10) и (16)–(18), как это следует из их выводов, не зависят от типа сетки и следовательно являются общими для обеих рассматриваемых сеток.

Понятие о теоретической длине косяка в данном случае излишне и потому ниже приводится формула для определения расчетной длины  $S_1$  по нижней кромке косяка.

Длина  $S_1$  равна удвоенному расстоянию точки  $a$  (фиг. 9) от середины косяка:

$$S_1 = 2(X'_1 - 0,5b \operatorname{ctg} \alpha) + 2(X'_2 - 0,5b \operatorname{ctg} \alpha - 0,5b \operatorname{ctg} \varepsilon), \quad (20)$$

где  $X'_1$  определяется по ф-ле (7'),

$$X'_2 = X'_1 \cos \Delta\beta,$$

а  $\varepsilon$  — угол в плоскости нижней грани гнезда между ребром гнезда и ребром  $ad$  шипа (фиг. 6).

Угол  $\varepsilon = \varphi$ , что очевидно без доказательства.

Подставив в ф-лу (20) значения  $X'_1$  и  $X'_2$  и заменив в ней угол  $\varepsilon$  через  $\varphi$ , а  $\varphi$  через  $\alpha$  и  $\Delta\beta$ , после преобразований получим:

$$S_1 = \frac{2\left(C + \frac{b}{\sin \alpha}\right)}{\cos \alpha} - b \frac{2 + \cos \Delta\beta + \operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg} \alpha (1 + \cos \Delta\beta)}. \quad (20')$$

Формулы для определения  $R$ ,  $\alpha$  и  $C$  выводятся аналогично тому, как и для центрированной сетки.

Радиус сетки:

$$R = \frac{\left(C + \frac{b}{\sin \alpha}\right) \sin \alpha \cos \Delta\beta - 0,5b}{\sin \Delta\beta \cos \alpha} + 0,5h. \quad (13')$$

Угол  $\alpha$  между нижними ребрами косяка и образующей свода определяется по ф-ле:

$$\cos \alpha = \frac{r \sqrt{m^2 + r^2 - k^2} + mk}{m^2 + r^2}, \quad (14')$$

где

$$m = \sin \Delta\beta (2R - h);$$

$$r = 2C \cos \Delta\beta;$$

$$k = b (2 \cos \Delta\beta - 1).$$

Полушаг косяков:

$$C = \frac{\sin \Delta\beta \cos \alpha (2R - h) - b(2 \cos \Delta\beta - 1)}{2 \sin \alpha \cos \Delta\beta}. \quad (15')$$

Приближенное значение  $C$  [см. пояснения к Ф-ле (19)] определяется по формуле:

$$C = \frac{3,1 \cos \alpha \sqrt{Rk} - 0,8k}{4 \sin \alpha} \quad (19')$$

4) Выводы формул для расчета основных косяков

а) Угол наклона  $\delta_1$  ребра торца косяка в плоскости его боковой грани (фиг. 9)

Угол  $\delta_1$  не зависит от типа сетки (фиг. 9 и 12) и потому формула для него имеет общий вид.

Расчетная формула для угла  $\delta_1$  может быть получена из рассмотрения следующих двух положений грани  $B$  на фиг. 18.

Положение 1. Грань  $B$  располагается на продолжении грани  $A$ , так что угол  $\Delta\beta = 0$  и пирамида  $1-2-3-4$  превращается в треугольник, обозначенный на фиг. 21 точками  $2-3-6$ .

На треугольнике  $2-3-6$  как на основании строится трехгранная призма  $2-3-6-5-1-4$  высотой  $h$ , т. е. верхняя грань этой призмы  $5-1-4$  совмещается с верхней кромкой сквозного косяка.

Положение 2. Призма, расположенная своим основанием  $2-3-6$  на совмещенных гранях  $A$  и  $B$  (фиг. 18), поворачивается вместе с гранью  $B$  вокруг ребра  $ab$  на угол  $\Delta\beta$ . Все точки призмы за исключением  $2$  и  $6$  займут после ее поворота положения, указанные на фиг. 21 теми же цифрами, но с индексами „прим“.

Верхние и нижние основания призмы, соответствующие верхней и нижней кромкам примыкающего косяка, и грань  $5'-6-3'-4'$ , соответствующая его пласти, продолжают до пересечения с пластью сквозного косяка, совпадающей с плоскостью  $7-2-3-4$  (фиг. 21).

Угол  $\delta_1$  (между прямыми  $7-8$  и  $9-8$ ) определяется из прямоугольного треугольника  $7-8-9$ , в котором известен катет  $7-8$ , равный  $h$ ; длина же катета  $7-9$  может быть определена из прямоугольных треугольников  $1'-10-11$  и  $7-9-12$ .

Катет  $1'-10$  в треугольнике  $1-10-11$  равен катету  $7-12$  треугольника  $7-9-12$ .

Длина  $(1'-11) = h \operatorname{tg} \Delta\beta$ .

Катет  $(1'-10) = h \operatorname{tg} \Delta\beta \cos \varphi$ .

Гипотенуза  $(7-9) = \frac{h \operatorname{tg} \Delta\beta \cos \varphi}{\sin \varphi}$ .

Следовательно угол  $\delta_1$  определится по формуле:

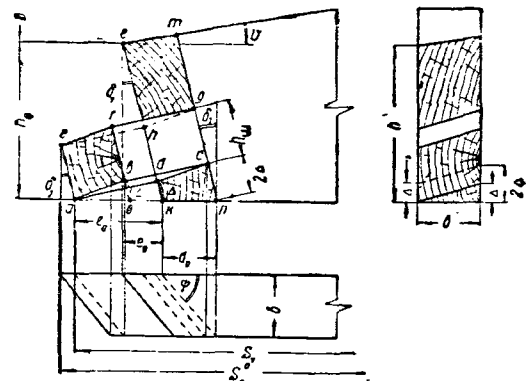
$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{(7-9)}{(7-8)} = \frac{h \operatorname{tg} \Delta\beta \cos \varphi}{h \sin \varphi} = \frac{\operatorname{tg} \Delta\beta \cos \varphi}{\sin \varphi}$$

Подставляя в эту формулу вместо  $\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$  их значения по Ф-лам (3) и (4), окончательно получим:

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{\sin \Delta\beta}{\sin \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2}}{\sin \alpha} \quad (21)$$

6) Нецентрированная сетка

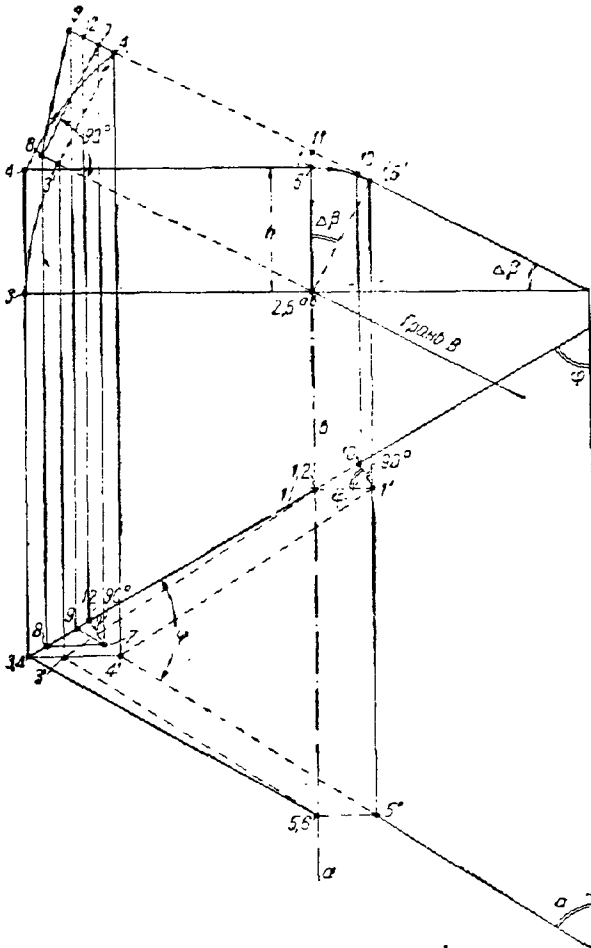
1) Размеры шипа (фиг. 22) и гнезда (фиг. 23). Форма шипа определяется размерами  $l_0$ ,  $\Delta$  и  $h_{ш}$ , так как плоскость его торца  $abfe$  параллельна плоскости торца косяка  $knml$ .



Фиг. 22. Обозначения размеров основных косяков нецентрированной сетки

Длина  $l_0$  равна разности величин  $X'_1$  и  $X_1$  [см. Ф-лы (7) и (7')]:

$$l_0 = \frac{C + \frac{b}{\sin \alpha}}{\cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} - \frac{C}{\cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} = \frac{b}{\sin \alpha \cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} \quad (22)$$

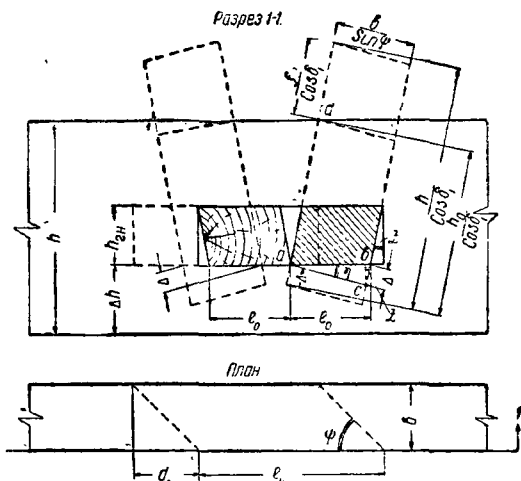


Фиг. 21. Определение угла  $\delta_1$  между прямыми  $8-9$  и  $7-8$ . Пунктиром показано положение призмы  $2-3-6-5-1-4$  после вращения ее вокруг ребра  $ab$  на угол  $\Delta\beta$

Глубина врезки  $\Delta$  найдется из косоугольного треугольника  $abc$  (фиг. 23) по формуле:

$$\Delta = \frac{b}{\sin \psi} \cdot \frac{\sin \eta}{\cos z} \quad (23)$$

Угол  $z$  равен углу  $\delta_1$ , что непосредственно вытекает из свойств двугранного угла, образованного в данном случае пластинами сквозного и примыкающего косяков в узле сетки.



Фиг. 23. Разрез в узле нецентрированной сетки по пласти сквозного косяка. Пунктиром показаны следы обрезанных под углами  $\delta_1$  и  $\psi$  торцов примыкающих косяков на пластих сквозного косяка. На плане эти косячки не показаны

Подставляя в ф-лу (23) вместо  $\sin \psi$  и  $\sin \eta$  их значения по ф-лам (4) и (8) и заменяя  $\cos z$  через  $\cos \delta_1$ , получим:

$$\Delta = \frac{b \sqrt{\cos^2 \Delta\beta + \operatorname{tg}^2 \alpha}}{\sin \alpha (1 + \cos \Delta\beta) \cos \delta_1} \cdot \frac{\sin \Delta\beta \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{\cos^2 \Delta\beta + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \quad (23')$$

Ввиду того что

$$\frac{b}{\sin \alpha \cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} = l_0,$$

$$\Delta = \frac{l_0 \sin \alpha \sin \Delta\beta}{\cos \delta_1} \quad (23'')$$

Размер  $(c - n) = 2\Delta$  и размер  $(o - b) = \Delta$  (фиг. 22), так как все косяки имеют одинаковую толщину  $b$ , а размер  $(a - b)$  гнезда (фиг. 23) равен длине  $l_0$ .

Последнее равенство  $(a - b) = l_0$  доказывается следующим образом.

Длина  $(a - b)$  косоугольного треугольника  $abc$  (фиг. 23) найдется из выражения:

$$(a - b) = \frac{b}{\sin \psi} \cos \eta + \frac{b}{\sin \psi} \cdot \sin \eta \operatorname{tg} \delta_1.$$

Подставляя вместо  $\sin \psi$ ,  $\cos \eta$ ,  $\sin \eta$  и  $\operatorname{tg} \delta_1$  их значения по ф-лам (4), (9), (8) и (21), после преобразований получим:

$$(a - b) = \frac{b}{\sin \alpha \cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} = l_0.$$

Размер  $h_{ш}$  шипа является функцией высоты  $h_m$  гнезда (фиг. 23) и угла  $z = \delta_1$ :

$$h_{ш} = \frac{h_m}{\cos \delta_1} \quad (24)$$

Форма гнезда определяется длинами  $l_k$  и  $d_0$  и углом  $\varphi$ .

Длина  $l_k$  находится по формуле (фиг. 23):

$$l_k = 2 (l_0 + h_m \operatorname{tg} \delta_1); \quad (25)$$

при

$$h_m = 0,3h$$

длина

$$l_k = 2 (l_0 + 0,3h \operatorname{tg} \delta_1). \quad (25')$$

2) Стрелка  $f$  и размеры косяка.

Величина стрелки  $f$  (фиг. 5 и 22) определяется из выражения (фиг. 23):

$$\frac{f}{\cos \delta_1} = \frac{h}{\cos \delta_1} - \Delta - (a - d),$$

где длина

$$(a - d) = \frac{h - \Delta h}{\cos \delta_1},$$

следовательно:

$$f = \Delta h - \Delta \cos \delta_1. \quad (26)$$

Проекции ребра  $k-l$  торца (фиг. 22) находятся по формулам:

вертикальная:

$$h_0 = h - j; \quad (27)$$

горизонтальная:

$$e_0 = h_0 \operatorname{tg} \delta_1. \quad (28)$$

Горизонтальная проекция  $d_0$  ребра торца  $k-l$  определяется по формуле:

$$d_0 = b \operatorname{ctg} \varphi. \quad (29)$$

Угол  $V$  наклона верхней кромки косяка (фиг. 22) при очертаии, показанном на фиг. 5, 6, найдется из выражения:

$$\operatorname{tg} V = \frac{f}{0,25 S_f}; \quad (30)$$

где

$$S_f = S_1 - 2 (l_0 - e_0). \quad (31)$$

Полная длина косяка  $S_1^0$  (фиг. 22) определяется по формуле:

$$S_1^0 = S_1 + 2 h_m \sin \delta_1. \quad (32)$$

Если

$$h_m = 0,3h,$$

то

$$h_m = \frac{0,3h}{\cos \delta_1}$$

и длина:

$$S_1^0 = S_1 + 0,6h \operatorname{tg} \delta_1 \quad (32')$$

где  $S_1$  — длина по ф-ле (20).

### в) Центрированная сетка

1) Размеры шипа (фиг. 24) и гнезда.

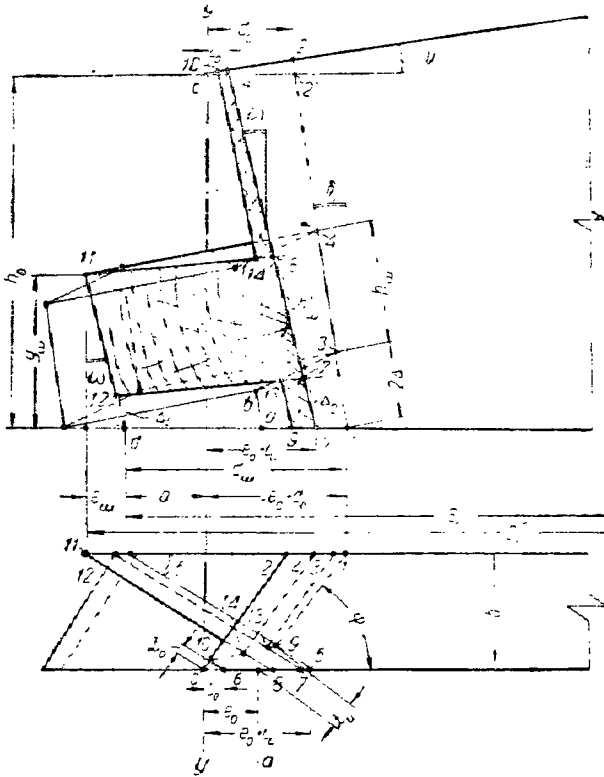
Форма шипа определяется размерами:  $\Delta$ ,  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ ,  $z_0$ ,  $i_m$ ,  $z_m$ ,  $e_0$ ,  $d_0$ ,  $d_{ш}$ ,  $e_{ш}$ ,  $y_m$ ,  $h_m$ ,  $h_{ш}$  и углом  $\sigma$  между нижним ребром косяка и следом плоскости 11-12-13-14 на нижней (продолженной) кромке косяка.

Величины  $\Delta$ ,  $e_0$ ,  $d_0$  и  $h_m$  находятся по ф-лам (23), (28), (29) и (24), что непосредственно вытекает из рассмотрения фиг. 12 и 24.

На фиг. 24 размером  $d_0$  обозначено расстояние точки 2 от оси  $y-y$ ; ф-ла же (29) справедлива для точки 2', однако этим пренебрегается, так как допускаемая погрешность всегда меньше 1 мм.



На фиг. 25 показано построение для определения величин  $i_u$  и  $z_u$ . Прямая, проходящая через точки  $a$  и  $R$ , параллельна ребру многогранника  $ab$  (фиг. 18), что очевидно без доказа-



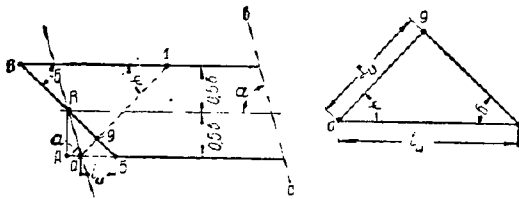
Фиг. 24. Обозначения размеров торца и шпала центрированной сетки. Точками с цифрами показан соответствующий шпал децентрированной сетки

тельства. Вследствие параллельности этих прямых размер  $i_u$  определится по формуле:

$$i_u = 0,6b (\operatorname{ctg} \sigma - \operatorname{ctg} a). \quad (33)$$

Размер  $z_u$  найдется из треугольника  $a-9-5$ :

$$\frac{z_u}{\sin \sigma} = \frac{i_u}{\sin (180^\circ - \varphi - \sigma)},$$



Фиг. 25. Определение размеров  $i_u$  и  $z_u$  в плоскости нижней кромки косыка.  $R$  — нормаль к нижней кромке сквозного косыка в узле

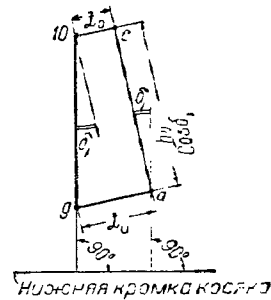
откуда

$$z_u = \frac{i_u \sin \sigma}{\sin (\varphi + \sigma)}. \quad (34)$$

Если  $\varphi + \sigma = 90^\circ$ , как это обычно принимают на практике, то

$$z_u = i_u \sin \sigma. \quad (34')$$

Размер  $z_0$  может быть определен по фигуре  $9-a-c-10$  (фиг. 24), которую вполне допустимо рассматривать как трапецию, считая, что точки  $c$ ,  $10$  и  $6$  расположены в одной плоскости, параллельной нижней кромке косыка. Это допущение значительно упрощает формулы, а на точность вычислений практически не влияет. След этой трапеции на пласти сквозного косыка в узле показан на фиг. 26; там же указаны углы наклона ее сторон и длина  $a-c$ .



Фиг. 26. След трапеции  $9-a-c-10$  на пласти сквозного косыка в узле (фиг. 24)

Длина  $z_0$  найдется по формуле:

$$z_0 = z_u - \frac{h_0}{\cos \delta_2} \operatorname{tg} \delta_1. \quad (35)$$

Размер  $i_0$  в соответствии с принятым допущением определится из треугольника  $c-10-6$  по формуле:

$$i_0 = \frac{z_0 \sin (\varphi + \sigma)}{\sin \sigma}. \quad (36)$$

Если

$$\varphi + \sigma = 90^\circ,$$

то

$$i_0 = \frac{z_0}{\sin \sigma}. \quad (36')$$

Длина  $d_{uv}$  (фиг. 24) находится по формуле:

$$d_{uv} = b \operatorname{ctg} \sigma - i_u - b \operatorname{ctg} \varphi, \quad (37)$$

которая после ряда преобразований принимает вид:

$$d_{uv} = l_0 + i_u, \quad (37')$$

где  $l_0$  — длина по ф-ле (22).

Размер:

$$a = d_{uv} - e_0 - d_0. \quad (38)$$

Углы наклона ребра  $5-6$  (фиг. 24) и ребра  $11-12$  определяются из выражения:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{e_0 + i_u - i_0}{h_0}. \quad (39)$$

Длина ребра  $9-13$  находится из рассмотрения трапеции  $a-b-3-1$  (фиг. 24 и 27) по формуле:

$$(9-13) = \Delta \cos \delta_1 \left( 1 + \frac{z_u \sin \varphi}{b} \right).$$

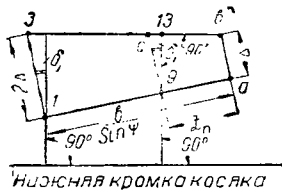
Имея длину  $(9-13)$ , можно определить отрезок  $(5-7) = \Delta_2$ , который отсекает ребро  $12-13$  шпала на прямой  $5-6$  (фиг. 24) торца косыка.

Рассматривая контур  $d-12-7-5$  и прямую  $9-13$  между его сторонами и полагая

прямую 9—13 параллельной прямой 5—7, получим:

$$A_2 = [\Delta \cos \delta_1 (1 + \frac{2i_u}{b} \sin \psi) - \Delta_1] \times \\ \times \frac{d_{11} - d_0 + i_u}{d_{11} - d_0 + z_p \cos \psi} + \Delta_1. \quad (40)$$

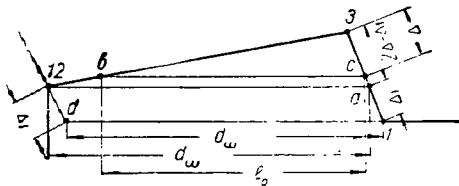
Величина  $\Delta_1$  может быть найдена из рассмотрения контура  $d-12-3-1$ . Из точки  $d$  (фиг. 28) проводится прямая 12— $a$ , параллельная прямой  $d-1$ ; из точки  $c$ , делящей пополам длину  $(1-3) = 2\Delta$ , также проводится прямая  $c-b$ , параллельная  $d-1$ .



Фиг. 27. Определение размера 9—13

Длина  $(b-c)$ , как это следует из фиг. 22 и 24, равна  $l_0$ .

Считая условно (без ущерба для практической точности) прямую 12— $d$  параллельной пря-



Фиг. 28. Определение размера  $A_1$

мой 1—3, из подобных треугольников  $b-3-c$  и  $12-3-a$  получим:

$$\frac{\Delta}{l_0} = \frac{2\Delta - A_1}{d_{11}},$$

откуда:

$$\Delta_1 = \Delta \left( 2 - \frac{d_{11}}{l_0} \right);$$

заменяя  $d_{11}$  через  $l_0 + i_u$  [(ф-ла (37))], окончательно будем иметь:

$$\Delta_1 = \Delta \left( 1 - \frac{i_u}{l_0} \right). \quad (41)$$

Размер  $h'_{11}$  (фиг. 24) определится из прямоугольных треугольников (фиг. 29)  $a-11-b$  и  $b-11-12$ .

Длина гипотенузы  $(a-11) = h'_{11}$ , следовательно:

$$h'_{11} = \frac{h_{11} \cos(\theta - \delta_1)}{\cos(\omega - \theta)},$$

а так как

$$h_{11} = \frac{h_{11}}{\cos \delta_1}$$

[см. ф-лу (24)], то:

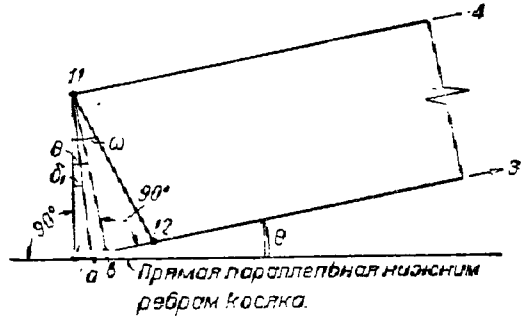
$$h'_{11} = \frac{h_{11} \cos(\theta - \delta_1)}{\cos \delta_1 \cos(\omega - \theta)}. \quad (42)$$

Если

$$h_{11} = 0,5h,$$

то:

$$h'_{11} = \frac{0,5h \cos(\theta - \delta_1)}{\cos \delta_1 \cos(\omega - \theta)}. \quad (42')$$



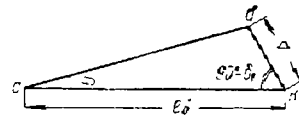
Фиг. 29. Определение длины  $h'_{11}$  ( $11-12$ ). Длина  $(a-11) = h'_{11}$

С достаточной для практики точностью можно принять:

$$h'_{11} = h_{11}. \quad (42'')$$

Угол  $\theta$  может быть определен из треугольника  $a-d-k$  (фиг. 22), в котором известны две стороны и угол (фиг. 30):

$$\sin(180^\circ - \theta - 90^\circ + \delta_1) = \frac{d}{\sin \epsilon}.$$



Фиг. 30. Определение угла  $\theta$

После ряда подстановок и преобразований получим:

$$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} \Delta \beta \sin \alpha. \quad (43)$$

При известных величинах  $h'_{11}$  и  $\Delta_1$  размеры  $y_m$  и  $e_m$  найдутся по формулам (фиг. 24):

$$y_m = (h'_{11} + \Delta_1) \cos \omega \quad (44)$$

и

$$e_m = (h'_{11} + \Delta_1) \sin \omega. \quad (45)$$

Длина  $S_1$  косяка в плоскости нижней кромки (фиг. 24) определяется по формуле:

$$S_1 = S_m + b \operatorname{ctg} \sigma = \frac{2C}{\cos^2 \alpha} + b \operatorname{ctg} \sigma, \quad (46)$$

где  $S_m$  — по ф-ле (11).

Полная длина косяка:

$$S_1^* = S_1 + 2e_m. \quad (47)$$

Длина гирьды  $l_k$  может быть определена из рассмотрения треугольников  $abc$ ,  $cde$  и  $dfg$  (фиг. 31) по формуле:

$$l_k = 2 \left( \frac{b}{2 \sin \psi} \cdot \cos \eta - 1,5\Delta \sin \delta_1 - h_m \operatorname{tg} \delta_1 \right).$$

Подставив вместо  $\sin \psi$  и  $\cos \eta$  их значения по ф-лам (4) и (9), после преобразований получим:

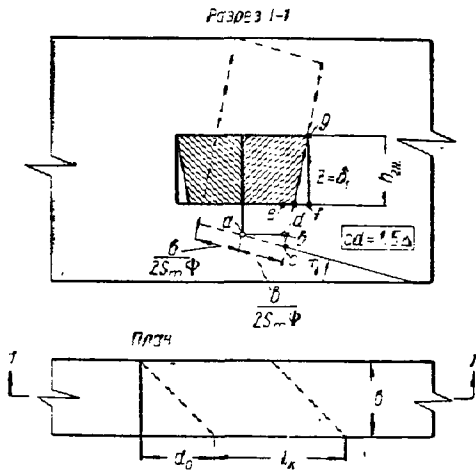
$$l_k = 2 \left( 0,5l_0 \cos \Delta \beta + \right. \\ \left. + 1,5\Delta \sin \delta_1 + h_m \operatorname{tg} \delta_1 \right). \quad (48)$$

Если

$$h_{\text{ст}} = 0,3h.$$

то:

$$l_k = l_0 \cos \Delta\beta + 3d \sin \delta_1 + 0,6h \operatorname{tg} \delta_1. \quad (48')$$



Фиг. 31. Определение длины гнезда  $l_k$  по разрезу сквозного косяка центрированной сетки срединной плоскостью

**Б. Выводы формул для расчета крайних косяков**

а) Косяки, примыкающие к обвязочным брусам (мауэрлатам)

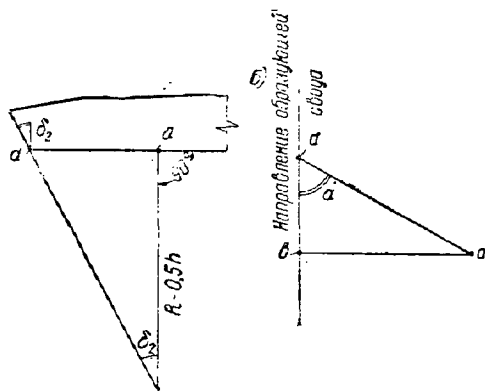
Эти косяки отличаются от основных длиной и формой одного торца.

Длина  $S_2^0$  косяка № 2 больше половины длины  $S_1^0$  основного косяка, а длина  $S_3^0$  косяка № 3 меньше  $0,5S_1^0$ .

Каждый из этих косяков может быть правым или левым. Опорные торцы их обрезаются плоскостью, совпадающей с радиусом, и образующей свода. Косяки опираются на мауэрлат полной площадью торца и в пределах опорной площади не пересекаются. Приводимые ниже формулы, как это будет видно из выводов, не зависят от типа сетки.

1) Косяк № 2

Угол  $\delta_2$  наклона ребер опорного торца (фиг. 32) определяется следующим образом.



Фиг. 32. Определение угла  $\delta_2$  и длины  $a-d$  (см. также фиг. 20)

Длина  $(a-b)$  в арке Делорма находится по фиг. 20:

$$(a-b) = (R-0,5h) \operatorname{tg} \Delta\beta_0.$$

При повороте косяка на угол  $\alpha$  (фиг. 32, б) длина  $(a-d) = S_2$  определится из треугольника  $a-b-d$ :

$$S_2 = (a-d) = \frac{(a-b)}{\sin \alpha};$$

по фиг. 32, а:

$$S_2 = (R-0,5h) \operatorname{tg} \delta_2, \quad (49)$$

следовательно:

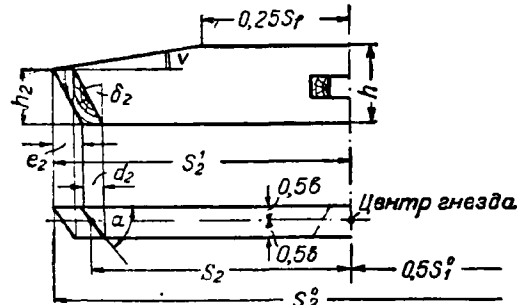
$$(R-0,5h) \operatorname{tg} \delta_2 = \frac{(R-0,5h) \operatorname{tg} \Delta\beta_0}{\sin \alpha},$$

откуда:

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{\operatorname{tg} \Delta\beta_0}{\sin \alpha}. \quad (50)$$

Длина проекции  $d_2$  (фиг. 33) нижнего ребра торца на нижнее ребро косяка найдется по формуле:

$$d_2 = b \operatorname{ctg} \alpha, \quad (51)$$



Фиг. 33. Размеры косяка № 2. Вторая половина косяка, не показанная на чертеже, такая же, как и у косяка № 1

так как это ребро торца наклонено к ребру косяка под углом  $\alpha$ .

Высота  $h_2$  определится из выражения:

$$S_2' = S_2 + 0,5d_2 + h_2 \operatorname{tg} \delta_2,$$

где

$$h_2 = h - (S_2' - 0,25S_1) \operatorname{tg} V.$$

Решая эту систему уравнений относительно  $h_2$ , получим:

$$h_2 = \frac{h - (S_2' - 0,25S_1 + 0,5d_2) \operatorname{tg} V}{1 + \operatorname{tg} \delta_2 \operatorname{tg} V}. \quad (52)$$

Если же

$$S_2' \leq 0,25S_1,$$

то

$$h_2 = h.$$

Длина проекции  $e_2$  определится по формуле:

$$e_2 = h_2 \operatorname{tg} \delta_2. \quad (53)$$

Полная длина косяка найдется по формуле:

$$S_2^0 = 0,5S_1^0 + S_2 + 0,5d_2 + e_2. \quad (54)$$

2) Косяк № 3.

Формулы для определения размеров этого косяка (фиг. 34) выводятся аналогично формулам

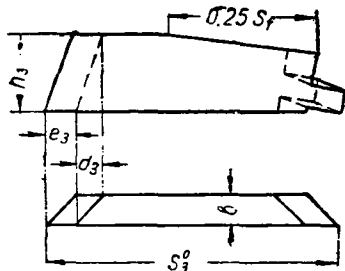
для косяка № 2; поэтому их выводы здесь не приводятся.

Угол наклона ребер опорного торца:

$$\operatorname{tg} \delta_3 = \frac{\operatorname{tg} (4\beta - 4\beta_0)}{\sin^2 \alpha}, \quad (55)$$

Длина:

$$S_3 = (R - 0,5h) \operatorname{tg} \delta_3. \quad (56)$$



Фиг. 34. Размеры косяка № 3

Длина проекции:

$$d_3 = b \operatorname{ctg} \alpha. \quad (57)$$

Высота:

$$h_3 = \frac{h - (S_3 - 0,25S_f - 0,5d_3) \operatorname{tg} V}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_3 \operatorname{tg} V}. \quad (58)$$

Если же, как это получается при нормальной конструкции опорных узлов

$$S_3 < 0,25S_f,$$

то

$$h_3 = h.$$

Длина проекции:

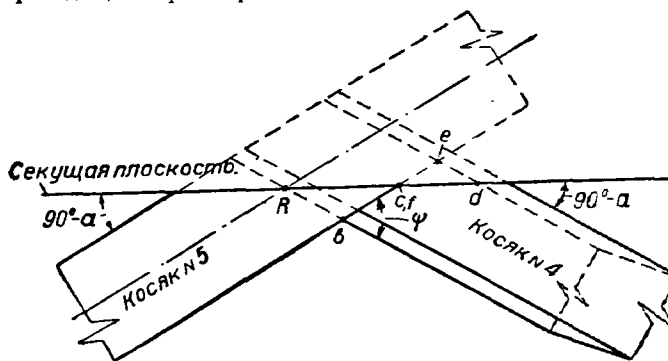
$$e_3 = h_3 \operatorname{tg} \delta_2. \quad (59)$$

Полная длина косяка:

$$S_3^0 = 0,5S_f - S_3 + 0,5d_3. \quad (60)$$

б) Косяки, примыкающие к обвязочным аркам или диафрагмам

Эти косяки в месте примыкания их к обвязочным аркам или диафрагмам обрезаются по плоскости, нормальной к образующей свода и проходящей через нормаль  $R$  сквозного косяка

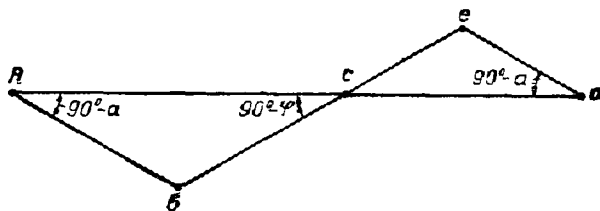


Фиг. 35. Примыкание косяков к обвязочной арке или диафрагме. Буквами обозначены точки на нижней кромке косяка № 4 за исключением точки  $f$ , соответствующей верхней кромке

(фиг. 35 и 36). Нормаль  $R$ , как уже указывалось выше, проходит через середину длины и толщины сквозного косяка.

Сквозной косяк, примыкающий к арке, обозначается № 5, а примыкающий к нему косяк— № 4.

Косяк, примыкающий и к арке и к обвязочному брусу, обозначается № 6.



Фиг. 36. Треугольники  $Rbc$  и  $ced$  (фиг. 35), расположенные в плоскости нижней кромки косяка № 4

1) Косяк № 4 нененцентрированной сетки.

Размеры  $bc$  и  $cd$  (фиг. 35) в плоскости нижней кромки косяка определяются из треугольников  $Rbc$  и  $ced$  (фиг. 36).

Длина стороны  $Rb$  треугольника  $Rbc$  найдется как разность величин  $X_1'$  и  $X_1$  [ф-ла (7)], причем значение  $X_1'$  определяется по аналогии с ф-лой (7') при  $C'' = C + \frac{b}{2 \sin \alpha}$ :

$$Rb = \frac{c + \frac{b}{2 \sin \alpha}}{\cos \alpha (1 + \cos 2\beta)} - \frac{c}{\cos \alpha (1 + \cos 2\beta)} = \frac{b}{2 \sin \alpha \cos \alpha (1 + \cos 2\beta)}$$

или [см. ф-лу (22)]:

$$Rb = \frac{l_0}{2}.$$

Из треугольника  $Rbc$ :

$$\frac{Rb}{\sin (90^\circ - \varphi)} = \frac{bc}{\sin (90^\circ - \alpha)},$$

следовательно:

$$bc = \frac{l_0 \cos \alpha}{2 \cos \varphi}.$$

Длина проекции  $bc$  на нижнее ребро косяка определяется по формуле (фиг. 35):

$$d_{bc} = bc \cos \varphi = \frac{l_0 \cos \alpha}{2 \cos \varphi} \cdot \cos \varphi,$$

которая после подстановок и преобразований принимает вид:

$$d_{bc} = \frac{b}{2 \cos 2\beta} \operatorname{ctg} \varphi. \quad (61)$$

Длина:

$$ce = be - bc = \frac{b}{\sin \varphi} - \frac{l_0 \cos \alpha}{2 \cos \varphi}.$$

Из треугольника  $ced$  имеем:

$$\frac{ce}{\sin (90^\circ - \alpha)} = \frac{cd}{\sin [180^\circ - (90^\circ - \alpha) - (90^\circ - \varphi)]} = \frac{cd}{\sin (\alpha + \varphi)},$$

откуда:

$$cd = ce \frac{\sin (\alpha + \varphi)}{\cos \alpha}.$$

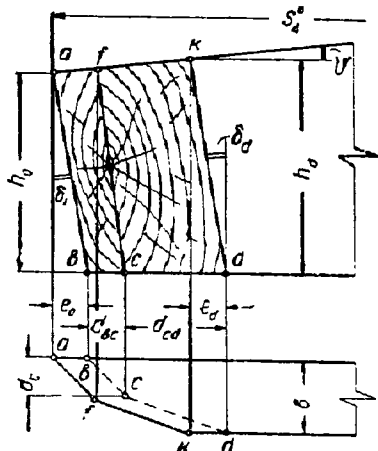
Длина проекции  $cd$  на нижнее ребро косяка определится по формуле (фиг. 35):

$$d_{cd} = cd \cdot \sin \alpha,$$

которая после подстановок и преобразований принимает вид:

$$d_{cd} = b \operatorname{tg} \alpha \left( 1 - \frac{1}{2 \cos \Delta \beta} \right). \quad (62)$$

Высота  $h_d$  с достаточной для практики точностью может быть определена по формуле (фиг. 37):



Фиг. 37. Торцевой косяк № 4 нецентрированной сетки

$$h_d = h_0 + (d_{bc} + d_{cd}) \operatorname{tg} \nu. \quad (63)$$

Угол наклона  $\delta_d$  ребра  $kd$  торца находится по формуле:

$$\operatorname{tg} \delta_d = \operatorname{tg} \Delta \beta \sin \alpha. \quad (64)$$

Длина проекции:

$$e_d = h_d \operatorname{tg} \delta_d. \quad (65)$$

Ребро  $ab$  торца соответствует ребру  $kl$  (фиг. 22) основного косяка, а плоскость  $abef$  (фиг. 37) — плоскости  $knl$  (фиг. 22).

Полная длина косяка (фиг. 22):

$$S_1^0 = S_1^0 - l_0 - h_{ш} \sin \delta_1 + e_0. \quad (66)$$

Если

$$h_{ш} = 0,3h.$$

то:

$$S_2^0 = S_1^0 - l_0 - 0,3h \operatorname{tg} \delta_1 + e_0. \quad (66')$$

2) Косяк № 4 центрированной сетки.

Выводы формул для определения размеров этого косяка не приводятся, так как они вполне аналогичны выводам, изложенным для косяка № 4 нецентрированной сетки.

Форма торца, примыкающего к обвязочной арке, показана на фиг. 38.

Длина

$$lc = \frac{h_0 \operatorname{tg} \delta_1}{\cos \delta_1} \quad (67)$$

$$bd = (bc) \frac{l_0 \cos \Delta \beta \sin \nu}{\dots} \quad (68)$$

Полная длина косяка:

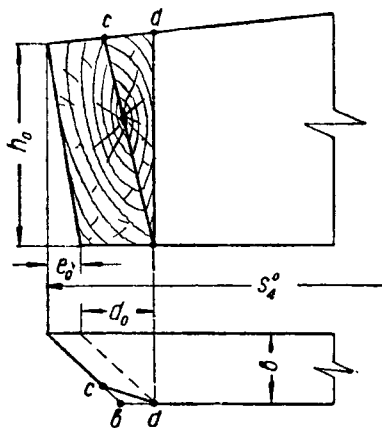
$$S_1^0 = S_1^0 - e_{ш} - d_{ш} + e_0 + d_0. \quad (69)$$

3) Косяк № 5.

Форма торца косяка № 5 не зависит от типа сетки и поэтому расчетные формулы для этого косяка имеют общий вид.

Длина  $d_0$  и полная длина косяка  $S$  определяются по формулам (фиг. 35 и 39):

$$d_0 = b \operatorname{tg} \alpha$$



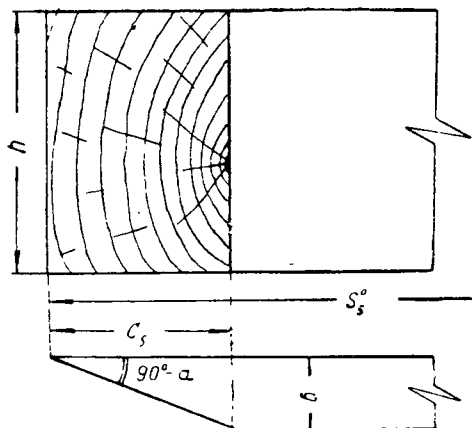
Фиг. 38. Торцевой косяк № 4 центрированной сетки

и

$$S_2^0 = 0,5S_1^0 + 0,5d_0 = \frac{S_1^0 + d_0}{2}. \quad (71)$$

4) Косяк № 6.

Опорный торец этого косяка совершенно одинаков с соответствующим ему торцом косяка № 2 или № 3 (фиг. 29), а торец, примыкающий к обвязочной арке, — с торцом косяка № 4 (фиг. 37 и 38).



Фиг. 39. Торцевой косяк № 5. Гнездо не показано

Вследствие этого для определения размеров косяка № 6 остается вычислить только полную длину косяка  $S_6^0$ .

Длина  $S_6^0$  находится по одной из формул:

$$S_6^0 = S_2^0 - (S_1^0 - S_2^0) \quad (72)$$

или

$$S_6^0 = S_3^0 - (S_1^0 - S_3^0). \quad (72')$$

6) Выводы формул для расчета врубок в обвязочных брусках

а) Нецентрированная сетка

Врубки определяются размерами (фиг. 40 и 41)  $\delta_{вр}$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ ,  $u_{вр}$ ,  $u_c$ ,  $b_{min}$  и  $h_{min}$  и углом  $\beta_0$ . Угол  $\beta_0$  наклона опорной площадки врубки в цилиндрических сводах равен  $\frac{\beta}{2}$ , а в стрельчатых —  $(\frac{\beta}{2} + \gamma)$ , где  $\beta$  — центральный угол свода или цилиндрической части его;  $\gamma$  — угол

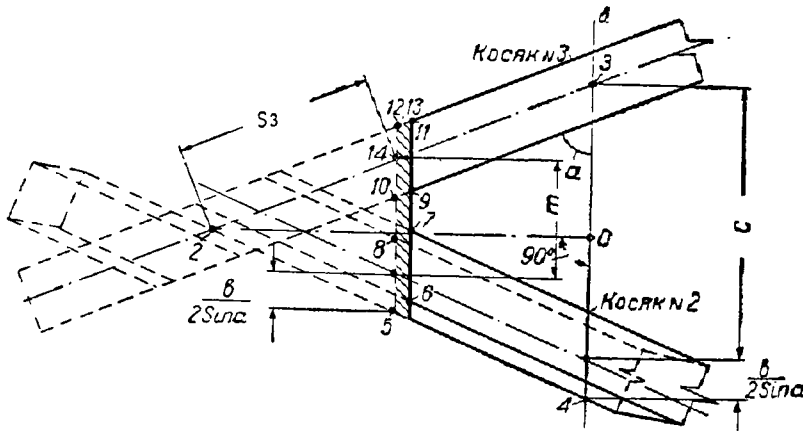
наклона хорды цилиндрической части стрельчатого свода.

Наименьшие размеры бруса из условия опирания торцов косяков полной площадью определяются согласно фиг. 41 по формулам:

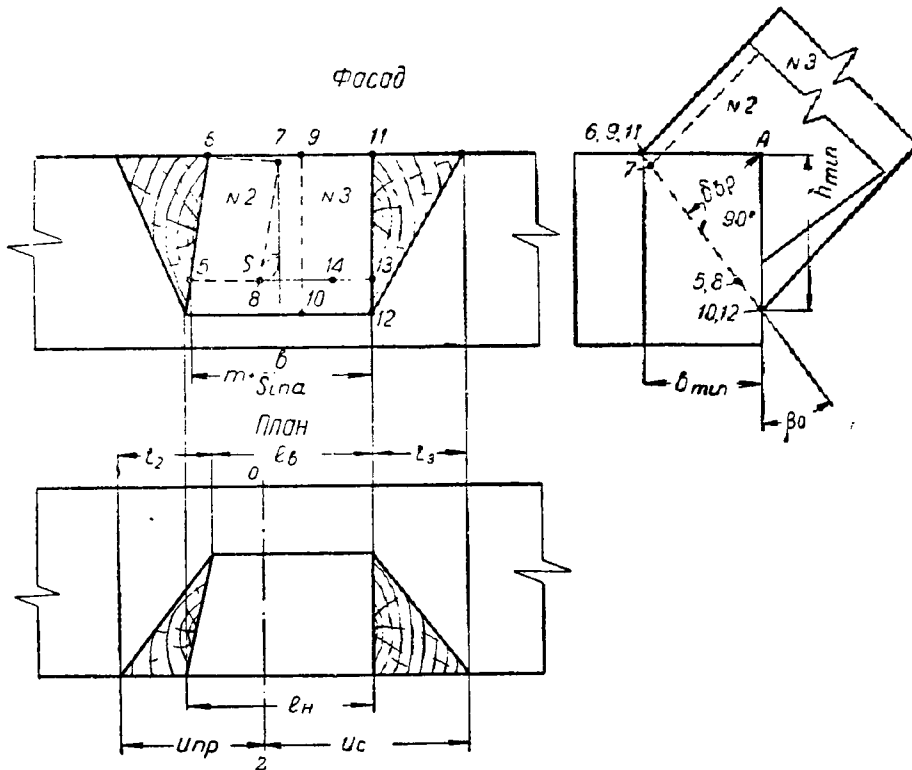
$$h_{min} = \frac{h_3}{\cos \delta_3} \cdot \cos \beta_0 \quad (73)$$

$$b_{min} = \frac{h_3}{\cos \delta_3} \cdot \sin \beta_0 \quad (74)$$

где  $\frac{h_3}{\cos \delta_3}$  — длина ребра (9—10) или (11—12)



Фиг. 40. Проекция опорного узла на нижнюю кромку косяка № 3. Штриховкой обозначена опорная площадка обвязочного бруса. Положение ребра (a—b) см. фиг. 13



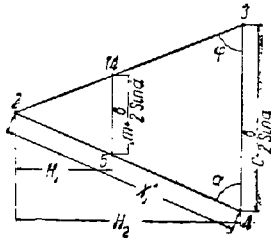
Фиг. 41. Форма и размеры врубки в обвязочных брусках. Обозначение точек такое же, как и на фиг. 40. Пунктиром на фасаде врубки показаны следы торцов косяков

торца косынка № 3; при нормальной конструкции опорного узла высота  $h_2 = h$  (см. выше).

Глубина  $\delta_{ep}$  врубки найдется по формуле:

$$\delta_{ep} = b_{\text{впн}} \cos \beta_0. \quad (75)$$

Для определения размеров  $l_2$  и  $l_n$  необходимо найти величину  $m$  (фиг. 40 и 42) и угол  $\varrho$ . Эта величина  $m$  может быть определена из рассмотрения треугольника 2—3—4 (фиг. 40), расположенного в плоскости нижней кромки косяка № 2.



Фиг. 42. Треугольник 2—3—4 (фиг. 40)

Треугольник 2—3—4 (фиг. 40) подобен треугольнику 2—3—4 (фиг. 19) и отличается от него длиной стороны 3—4, которая в данном случае равна  $C + \frac{b}{2 \sin \alpha}$ .

Так как сторона 5—14 (фиг. 40 и 41) параллельна ребру  $ab$ , то и треугольник 2—14—5 подобен треугольнику 2—3—4 (фиг. 42).

Высота  $H_1$  треугольника 2—14—5 определится по формуле:

$$H_1 = \frac{S_3 \sin \alpha}{\cos \Delta\beta};$$

а высота  $H_2$  треугольника 2—3—4 — по формуле:

$$H_2 = X_1^* \sin \alpha.$$

где  $S_3$  — длина по ф-ле (56), а

$$X_1^* = \frac{C + \frac{b}{2 \sin \alpha}}{\cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)}$$

[см. вывод ф-лы (61)].

Имея величины  $H_1$  и  $H_2$  и длины сторон 5—14 и 3—4 (фиг. 42), получим:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{m + \frac{b}{2 \sin \alpha}}{C + \frac{b}{2 \sin \alpha}},$$

откуда:

$$m + \frac{b}{2 \sin \alpha} = \frac{C + \frac{b}{2 \sin \alpha}}{H_2} H_1;$$

подставив вместо  $H_1$  и  $H_2$  их значения, найдем:

$$m = \frac{S_3 \cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)}{\cos \Delta\beta} - \frac{b}{2 \sin \alpha}.$$

Угол  $\varrho$  наклона ребра (7—8) (фиг. 41) в опорной плоскости врубки определяется следующим образом. Если бы ребро (7—8) было расположено нормально к нижней кромке косяка № 2, то угол  $\varrho$  был бы равен углу  $\varrho'$ , который мо-

жет быть найден по фиг. 21 [см. длину катета  $I'—IO$  в выводах ф-лы (21)]:

$$\operatorname{tg} \varrho' = \frac{h \operatorname{tg} \Delta\beta \cos \varphi}{h} = \frac{\sin \Delta\beta}{\sqrt{\cos^2 \Delta\beta + \operatorname{tg}^2 \alpha}}.$$

Так как ребро (7—8) наклонено к нормали под углом  $\delta_2$ , то:

$$\operatorname{tg} \varrho = \operatorname{tg} \varrho' \cos \delta_2 = \frac{\sin \Delta\beta \cos \delta_2}{\sqrt{\cos^2 \Delta\beta + \operatorname{tg}^2 \alpha}}. \quad (76)$$

Длину ребра (5—6) можно без ущерба для точности принять равной длине (7—8), определяемой по формуле:

$$(7-8) = \frac{h_2}{\cos \delta_2}.$$

При известных величинах  $m$ ,  $\varrho$  и (7—8) размеры  $l_2$  и  $l_n$  находятся согласно фиг. 41 по формулам:

$$l_2 = \left( m + \frac{b}{\sin \alpha} \right) - \frac{h_2}{\cos \delta_2} \sin \varrho = \frac{S_3 \cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)}{\cos \Delta\beta} + \frac{b}{2 \sin \alpha} - \frac{h_2}{\cos \delta_2} \sin \varrho \quad (77)$$

и

$$l_n = l_2 + \frac{\delta_{ep} \operatorname{tg} \varrho}{\sin 2\beta_0}. \quad (78)$$

Размеры  $t_2$  и  $t_3$  определяются из рассмотрения двух положений косяков.

В первом положении косяки располагаются нормально к образующей свода, во втором положении оба косяка поворачиваются, каждый в плоскости своей нижней кромки, на угол  $90^\circ - \alpha$  к образующей.

Определение неизвестных  $t_2$  и  $t_3$  сводится к решению треугольников, расположенных в плоскостях, параллельных нижним кромкам косяков и проходящих через точку  $A$  (фиг. 41), и к учету угла  $\varrho$  наклона ребра (5—6) косяка № 2.

В результате получим:

$$t_2 = \delta_{ep} \left[ \frac{1}{\cos \delta_2 \operatorname{tg} \alpha} + (\operatorname{tg} \beta_0 - \operatorname{tg} \delta_2) \operatorname{tg} \varrho \right] \quad (79)$$

и

$$t_3 = \frac{\delta_{ep}}{\cos \delta_3 \operatorname{tg} \alpha}. \quad (80)$$

Расстояния  $u_{np}$  и  $u_c$  по верхнему ребру  $A$  бруса (фиг. 41) крайних точек врубки до прямой (0—2), нормальной к ребру ( $a—b$ ) (фиг. 40) и проходящей через нормаль  $R$  к сквозному косяку (точка 2), определяются по формулам:

$$u_c = (S_3 + e_2) \cos \alpha + t_3 + \frac{b}{2 \sin \alpha}; \quad (80')$$

$$u_{np} = l_2 + t_2 + t_3 - u_c. \quad (79)$$

Врубки расположены по длине бруса на равном расстоянии

$$S_{ep} = 2C.$$

## б) Центрированная сетка

Все формулы, выведенные для нецентрированной сетки, за исключением ф-лы (77), остаются в силе, ф-ла же (77) принимает вид:

$$l_2 = \frac{S_3 \cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)}{\cos \Delta\beta} + \frac{b}{\sin \alpha} - \frac{h_2}{\cos \delta_2} \sin \varrho. \quad (77')$$

#### 4. Статический расчет

##### 1) Действующие нагрузки

Расчетными нагрузками являются: постоянная (вес кровли и собственный вес сетки свода) снеговая и ветровая; кроме того могут иметь место подвесные грузы (например люстры).

Собственный вес  $g_{св}$  сетки свода определяется приближенно с помощью коэффициента  $K_{св}$  собственного веса свода. При отсутствии работающих диафрагм принимается  $K_{св} = 15 - 18$ , при наличии же диафрагм значение  $K_{св}$  может быть значительно уменьшено.

Нагрузка  $g_{св}$  в  $кг/м^2$  горизонтальной проекции покрытия определяется по формуле:

$$g_{св} = \frac{p_s + g_{кр}}{K_{св} l - 1} \quad (81)$$

где  $p_s$  — снеговая нагрузка в  $кг/м^2$ ;  
 $g_{кр}$  — постоянная нагрузка в  $кг/м^2$  за исключением собственного веса;  
 $l$  — расчетный пролет свода в м.

Неточность, допускаемая при определении собственного веса сетки, обычно не имеет практического значения для предварительных расчетов при определении размеров сечения косяков. При расчете же затяжек и контрфорсов величину  $g_{св}$  следует определить точно, исходя из принятых размеров косяков сетки по формуле:

$$g_{св} = \frac{h(h_0 - h)S}{2lC \sin \alpha} \cdot \gamma_d \quad (82)$$

где  $\gamma_d$  — объемный вес древесины.  
 Снеговая нагрузка  $p_s$  учитывается в соответствии с ОСТ/ВКС 7626/б. Для цилиндрических сводов при подъеме  $\frac{f}{l} < \frac{1}{6}$  расчетная величина нагрузки  $p_s$  принимается равной  $0,75p_s^0$ , где  $p_s^0$  — снеговая нагрузка на плоскую горизонтальную кровлю; при  $\frac{f}{l} > \frac{1}{6}$  нагрузка  $p_s = 0,5p_s^0$ , но не менее  $25 кг/м^2$ . В стрельчатых сводах с подъемом  $\frac{f}{l} < \frac{1}{2}$  нагрузка  $p_s = 0,5p_s^0$ , но не менее  $25 кг/м^2$ , а при  $\frac{f}{l} = \frac{1}{2}$  снеговая нагрузка  $p_s$  принимается независимо от снежности района равной  $25 кг/м^2$ .

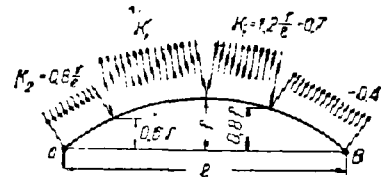
Ветровая нагрузка на цилиндрические своды учитывается только при расчете затяжек, контрфорсов и мауерлатов; схема и величина нагрузки принимаются в соответствии с ОСТ/ВКС 7626/а.

стрельчатых сводов определяются в зависимости от подъема  $\frac{f}{l}$  по формулам:

$$K_1 = -\frac{f}{l} + 0,7; \quad (83)$$

$$K_2 = 0,8 \frac{f}{l}. \quad (84)$$

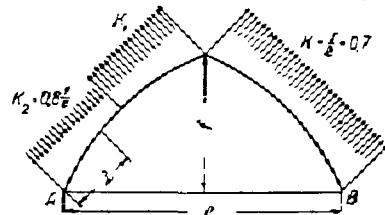
Действующие на свод нагрузки учитываются в наименеевыгоднейшей комбинации.



Фиг. 43. Схема ветровой нагрузки на цилиндрический свод

##### 2) Расчетные схемы

Сетчатый свод представляет собой пространственно-стержневую многократно статически неопределимую систему. Точный расчет этой системы вследствие своей сложности практически



Фиг. 44. Схема ветровой нагрузки на стрельчатый свод

неприемлем. Поэтому расчет сводов производится по приближенному методу, результаты которого, как показали многократные опыты германского профессора Оттена<sup>1</sup>, опыты ЦНИПС и доц. Д. А. Кочеткова, дают хорошее совпадение с испытаниями.

Сущность метода заключается в следующем. Из свода нормально к его образующей выделается полоса (фиг. 45), равная по ширине одной зоне 2C косяков с действующей на нее внешней нагрузкой. Выделенная полоса свода рассчитывается как арка (обычными приемами), а пространственная работа ее учитывается введением коэффициентов, зависящих от расстояния между жесткими диафрагмами.



Фиг. 45. Расчетная полоса свода

Для упрощения расчета рекомендуется считать нагрузку направленной не по радиусу (как указано в ОСТ), а нормально к хордам согласно фиг. 43.

Для стрельчатых сводов ветровая нагрузка является основной и должна учитываться при расчете всех элементов свода; схему нагрузки (ввиду отсутствия аналогичных профилей в указанном ОСТ) можно принимать по фиг. 44 на основании опытных данных, полученных Эйфелем (в. Франции) при продувке эллинга бельфорского типа.

Аэродинамические коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  для

При обычном устройстве опор и шельги стрельчатые своды (фиг. 13) рекомендуется рассчитывать как трехшарнирные арки.

Расчет цилиндрических сводов по схеме двухшарнирной арки может производиться со значительными упрощениями ввиду приближенности коэффициентов, учитывающих влияние диафрагм, условности схем временных нагрузок, а также недостаточной изученности работы безметалльных сводов на практике.

<sup>1</sup> R. Otzen, Die statische Berechnung der Zollbau-Lamellen dächer «Industriebau», 1923, № VIII — I.K.



3. Определение усилий

а) Своды

Изгибающие сетку свода моменты  $M_k$  вычисляются с учетом угла наклона косынок к образующей свода по формуле:

$$M_k = \frac{2M_a C}{\rho \sin \alpha} \quad (85)$$

где  $M_a$  — изгибающий момент на арке шириной 1 м;

$\rho$  — коэффициент, определяемый при наличии жестких диафрагм в зависимости от  $\frac{B}{S}$  по табл. 1 (промежуточные значения находятся линейной интерполяцией).

Величины изгибающих моментов  $M_a$  определяются по формулам:

Таблица 2

Изгибающие моменты  $M_0$  в простой балке от равномерной нагрузки для сечений через 0,05l

$$M_0 = \eta g l^2$$

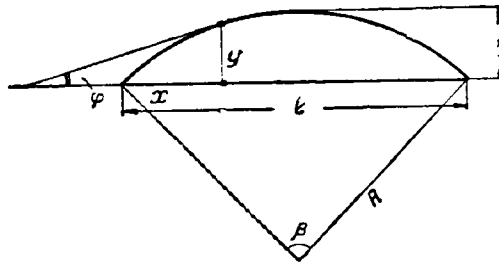
Таблица 1  
Значение коэффициента  $\rho$

| $\frac{B}{S}$ | 1,0 | 1,5 | 2,0  | 2,5 и более |
|---------------|-----|-----|------|-------------|
| $\rho$        | 2,0 | 1,5 | 1,25 | 1,0         |

| $\frac{x}{l}$ | 0,05  | 0,10  | 0,15  | 0,20  | 0,25  | 0,30  | 0,35  | 0,40  | 0,45  |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\eta$        | 0,024 | 0,045 | 0,064 | 0,080 | 0,094 | 0,105 | 0,114 | 0,120 | 0,124 |

Таблица 3

Геометрические данные для расчета арок кругового очертания



| $\frac{l}{f}$ | $n =$         | 0,05  | 0,10  | 0,15  | 0,20  | 0,25  | 0,30  | 0,35  | 0,40  | 0,45  | $R$      | $\beta$  | $\frac{l^2}{8f}$ |
|---------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|------------------|
| $\frac{1}{2}$ | $\frac{y}{f}$ | 0,435 | 0,600 | 0,714 | 0,800 | 0,866 | 0,916 | 0,954 | 0,980 | 0,995 | 0,5l     | 180° 00' | 0,25l            |
|               | $\sin \phi$   | 0,900 | 0,800 | 0,700 | 0,600 | 0,500 | 0,400 | 0,300 | 0,200 | 0,100 |          |          |                  |
|               | $\cos \phi$   | 0,436 | 0,600 | 0,714 | 0,800 | 0,866 | 0,916 | 0,954 | 0,980 | 0,995 |          |          |                  |
| $\frac{1}{3}$ | $\frac{y}{f}$ | 0,280 | 0,471 | 0,615 | 0,728 | 0,816 | 0,885 | 0,936 | 0,972 | 0,993 | 0,54167l | 131° 46' | 0,375l           |
|               | $\sin \phi$   | 0,931 | 0,738 | 0,646 | 0,554 | 0,462 | 0,369 | 0,277 | 0,185 | 0,092 |          |          |                  |
|               | $\cos \phi$   | 0,556 | 0,674 | 0,763 | 0,832 | 0,867 | 0,929 | 0,961 | 0,983 | 0,996 |          |          |                  |
| $\frac{1}{4}$ | $\frac{y}{f}$ | 0,235 | 0,421 | 0,571 | 0,683 | 0,791 | 0,868 | 0,927 | 0,968 | 0,992 | 0,625l   | 108° 16' | 0,5l             |
|               | $\sin \phi$   | 0,720 | 0,640 | 0,560 | 0,480 | 0,400 | 0,320 | 0,240 | 0,160 | 0,080 |          |          |                  |
|               | $\cos \phi$   | 0,694 | 0,768 | 0,828 | 0,877 | 0,916 | 0,947 | 0,971 | 0,987 | 0,997 |          |          |                  |
| $\frac{1}{5}$ | $\frac{y}{f}$ | 0,217 | 0,368 | 0,550 | 0,676 | 0,778 | 0,860 | 0,922 | 0,966 | 0,992 | 0,725l   | 87° 12'  | 0,625l           |
|               | $\sin \phi$   | 0,621 | 0,552 | 0,483 | 0,414 | 0,345 | 0,276 | 0,207 | 0,138 | 0,069 |          |          |                  |
|               | $\cos \phi$   | 0,784 | 0,834 | 0,876 | 0,910 | 0,939 | 0,961 | 0,978 | 0,990 | 0,993 |          |          |                  |
| $\frac{1}{6}$ | $\frac{y}{f}$ | 0,209 | 0,386 | 0,536 | 0,665 | 0,770 | 0,854 | 0,918 | 0,964 | 0,991 | 0,83333l | 73° 44'  | 0,75l            |
|               | $\sin \phi$   | 0,540 | 0,480 | 0,420 | 0,360 | 0,300 | 0,240 | 0,180 | 0,120 | 0,060 |          |          |                  |
|               | $\cos \phi$   | 0,542 | 0,877 | 0,907 | 0,933 | 0,954 | 0,971 | 0,984 | 0,993 | 0,998 |          |          |                  |
| $\frac{1}{7}$ | $\frac{y}{f}$ | 0,202 | 0,379 | 0,530 | 0,658 | 0,765 | 0,851 | 0,917 | 0,963 | 0,991 | 0,94643l | 63° 47'  | 0,875l           |
|               | $\sin \phi$   | 0,475 | 0,423 | 0,371 | 0,317 | 0,264 | 0,211 | 0,158 | 0,106 | 0,053 |          |          |                  |
|               | $\cos \phi$   | 0,880 | 0,906 | 0,929 | 0,948 | 0,964 | 0,977 | 0,987 | 0,994 | 0,999 |          |          |                  |
| $\frac{1}{8}$ | $\frac{y}{f}$ | 0,200 | 0,374 | 0,526 | 0,654 | 0,762 | 0,848 | 0,914 | 0,962 | 0,990 | 1,0625l  | 56° 08'  | l                |
|               | $\sin \phi$   | 0,424 | 0,376 | 0,329 | 0,282 | 0,235 | 0,188 | 0,141 | 0,094 | 0,047 |          |          |                  |
|               | $\cos \phi$   | 0,906 | 0,927 | 0,944 | 0,959 | 0,972 | 0,982 | 0,990 | 0,996 | 0,999 |          |          |                  |

а) от постоянной нагрузки:

$$M_a^s = M_0 - \alpha \frac{q l^2}{8}, \quad (86)$$

где

$$\alpha = \frac{y}{f};$$

$y$  — ординаты оси свода (табл. 3);  
 $M_0$  — момент в соответствующем сечении простой балки;

б) от односторонней снеговой нагрузки  $p_s$  на полупролете арки:

$$M_a^s = \frac{p_s l}{8} \left( x - \frac{al}{2} \right); \quad (87)$$

в) от ветровой нагрузки  $P_w$  (только для стрелчатых сводов) по фиг. 44:

$$M_a^w = Ax - H_a y + \frac{p_{1w} \cdot z^2}{2}, \quad (88)$$

где

$$A = -\frac{q_{w1} l_0^2}{l} \left\{ K_1 [0,875 + \sin(90^\circ - 2\gamma)] - \frac{K_2}{8} \right\}; \quad (89)$$

$$H_a = \frac{Al + p_{1w} l_0^2}{2f}. \quad (90)$$

Величина  $\sin(90^\circ - 2\gamma)$  в ф-ле (89) положительна при  $\gamma \leq 45^\circ$  и отрицательна при  $\gamma > 45^\circ$ .

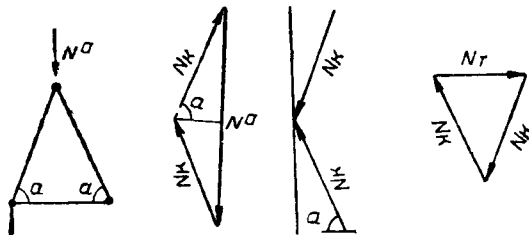
При расчете стрелчатых сводов величины  $\alpha$ ,  $y$  и  $z$  в ф-лах (86) и (88) могут определяться графически по масштабу.

Нормальные усилия в своде определяются для сечений, где момент  $M_a$  имеет наибольшую (абсолютную) величину; для цилиндрических сводов кроме того определяется наибольшее сжимающее усилие в четверти пролета.

Действующее в арке усилие  $N_a$  разлагается по направлению косяков (фиг. 46), причем усилие в косяке находится по формуле:

$$N_k = \frac{N_a C}{\sin \alpha}. \quad (91)$$

Продольное усилие в своде, распирающее торцевые стены и воспринимаемое обрешеткой, направленной по образующей свода, находится по ф-ле (фиг. 47):



Фиг. 46. Определение нормальных сил в косяке

Фиг. 47. Определение торцевого распора

$$N_m = N_a C \operatorname{tg} \alpha. \quad (92)$$

Величина  $N_a$  определяется в данном случае при наименее выгоднейшем загрузении арки шириной 1 м.

Величины нормальных усилий  $N_a$  в арке определяются по формулам:

а) от постоянной нагрузки  $q$  (или равномерной снеговой по всему пролету):

$$N_a^q = Q_0 \sin \varphi + H_0 \cos \varphi, \quad (93)$$

где  $Q_0$  — поперечная сила в простой балке;

Таблица 4

Поперечные силы в простой балке от равномерной нагрузки для сечений через 0,05:

$$Q_0 = q l$$

| $\frac{x}{l}$ | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $q$           | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 0,05 |

$\varphi$  — угол наклона касательной к горизонту;

$$H_0 = \frac{q l^2}{8f}; \quad (94)$$

б) от односторонней снеговой нагрузки  $p_s$  на полупролете арки:

$$N_a^s = \frac{p_s l}{8} \sin \varphi + H_s \cos \varphi, \quad (95)$$

где

$$H_s = \frac{p_s l^2}{16f}; \quad (96)$$

в) от ветровой нагрузки  $P_w$  (только для стрелчатых сводов) по фиг. 44:

$$N_a^w = A \sin \varphi + H_w \cos \varphi. \quad (97)$$

Для стрелчатых сводов величина угла  $\varphi$  в ф-лах (95)—(97) может определяться графически (измерением катетов, через  $\operatorname{tg} \varphi$ ) по масштабу.

При расчете затяжек, контрфорсов и мауэрлатов величина распора  $H$  определяется при загрузении всего свода (арки) полной расчетной нагрузкой; при этом ветровая нагрузка учитывается лишь в тех случаях, когда распор от нее  $H_w$  имеет хотя бы на одной из опор положительное направление (к середине пролета):

$$H = H_q + H_s + H_w = \frac{q \cdot l}{8f} \cdot l^2 + H_w. \quad (98)$$

В стрелчатых сводах распор  $H_q$  имеет положительное направление на заветренной опоре  $B$  (фиг. 44); в цилиндрических же сводах он обычно направлен в другую сторону (от середины пролета) и потому в ф-ле (98) не учитывается.

Необходимо также принимать во внимание, что при малой постоянной нагрузке и большой ветровой может оказаться, что отрицательный распор от ветра превосходит по величине положительный распор от постоянной нагрузки (в цилиндрических сводах это имеет место при  $q_w > q$ ).

При определении  $H_w$  в цилиндрических сводах длины участков (хорд) загрузения и плечи действия сил могут определяться графически по масштабу.

Поперечные силы  $Q$ , действующие на концах косяка, определяются приближенно по формуле:

$$Q = \frac{2M_k}{S_k}, \quad (99)$$

где  $S_k$  — длина косяка между осями пересекаемых им косяков;

$M_k$  — расчетный изгибающий момент в косяке.

### б. Жесткие диафрагмы

Усилия в жестких диафрагмах определяются только от несимметричных нагрузок по общему методу расчета плоскостных систем деревянных конструкций.

Величину  $p_d$  погонной нагрузки при  $2,5S \gg B \gg S$  рекомендуется определять по формуле 1:

$$p_d = \left(1 - \frac{0,7}{e}\right) p_{cs} B_0, \quad (100)$$

где  $p_{cs}$  — соответствующая нагрузка на свод в  $\text{кг/см}^2$ ;

$B_0$  — ширина полосы, действующей на диафрагму нагрузки.

Для фронтонов  $B_0 = \frac{B}{2}$ , а для промежуточных диафрагм  $B_0 = B$ .

При  $B > 2,5S$  нагрузка исчисляется так же, как при  $B = 2,5S$ , а при  $B < S$  нагрузка  $p_d = 0,65 p_{cs} B_0$ .

#### 4) Расчет элементов свода

Расчет сетки свода сводится к проверке прочности косяка по наибольшему изгибающему моменту  $M_k^{\max}$  и соответствующей этому сечению нормальной силе  $N_k$  по формуле:

$$n = \frac{N_k}{F_k} + \frac{M_k^{\max}}{W_k \left(1 - \frac{\lambda^2}{5 \cdot 100} \frac{N_k}{F_k [n_-]}\right)}, \quad (101)$$

где  $F_k = bh$  — площадь брутто поперечного сечения косяка;

$W_k$  — момент сопротивления брутто сечения косяка;

$[n_-]$  — допускаемое напряжение на сжатие;

$\lambda$  — гибкость свода, соответствующая свободной длине  $l_e = 0,5S$ ;

$S$  — полная длина дуги свода.

Расчетный момент инерции сечения двух косяков, соответствующий полосе свода шириной  $2C$ , определяется по формуле:

$$I = 0,944 \cdot 1,5 \sin^3 \alpha I_k, \quad (102)$$

где  $I_k = \frac{bh^3}{12}$  — момент инерции косяка, а коэффициенты  $0,944$ ,  $1,5$  и  $\sin^3 \alpha$  учитывают влияние подрезки верхней кромки косяков, влияние совместной работы двух косяков и влияние угла наклона косяков к образующей свода.

Радиус инерции свода находится соответственно по формуле:

$$r = \sqrt{\frac{I}{2F_k \sin \alpha}} = 0,243h \sin \alpha \quad (103)$$

и следовательно гибкость

$$\lambda = \frac{0,5S}{r} = \frac{2,05S}{h \sin \alpha}. \quad (104)$$

Цилиндрические своды рассчитываются кроме того на устойчивость при равномерном нагружении всего свода по нормальной сжимающей силе  $N_k^{\max}$  в четверти пролета по формуле:

$$n = \frac{N_k^{\max} \lambda^2}{F_k \cdot 3 \cdot 100} = \frac{N_k^{\max}}{508F_k} \cdot \left(\frac{S}{h \sin \alpha}\right)^2, \quad (105)$$

где

$$\lambda = \frac{0,6S}{r} = \frac{0,6S}{0,243h \sin \alpha} = \frac{2,47S}{h \sin \alpha}. \quad (106)$$

Проверка напряжений смятия гнезда (и шипов) необязательна, так как эти напряжения всегда получаются меньше допускаемых. Расчет косяка на расщепление по гнезду от поперечной силы при  $S_k = 10h$  не производится.

Мауерлаты (или горизонтальные балки), воспринимающие распор свода, рассматриваются как простые балки, нагруженные сосредоточенными силами от косяков, и рассчитываются по допускаемым напряжениям  $[n]$  и прогибу  $\left(\frac{f}{l}\right)$ .

Пролет этих балок принимается равным расстоянию между затяжками или контрфорсами.

Смятие во врубах мауерлата от сжимающих усилий в косяках может не проверяться.

В тех случаях, когда прочность или жесткость мауерлата недостаточна, последний усиливается дополнительной балкой, расчет которой рекомендуется производить без учета совместной работы ее с мауерлатом.

Если мауерлаты опираются не на сплошную стену, а на прогоны, то эти прогоны рассчитываются на изгиб вертикальной составляющей опорной реакции свода при полном нагружении его снеговой нагрузкой.

Коньковые брусья в стрельчатых сводах при нормальном сопряжении с косяками не рассчитываются, и сечения их назначаются по конструктивным соображениям.

Затяжки и контрфорсы рассчитываются обычными приемами.

Продольная обшивка, расположенная поверх сетки, рассчитывается на прикрепление ее к косякам и торцевой стене по силам  $N_m$  [см. ф-лу (92)].

### 5. Примеры проектирования

**Пример 1.** Проект цилиндрического свода с нецентрированной сеткой

Расчет свода

1. Схема и расчетные данные

1) Геометрические размеры свода.

Дано: пролет  $l = 12$  м;  $\frac{f}{l} = \frac{1}{7}$ .

Расстояние между фронтонами  $B = 20$  м.

По табл. 3 находим:

радиус оси свода:

$$R = 0,9464l = 0,9464 \cdot 12 = 11,357 \text{ м.}$$

Центральный узел  $\beta = 63^\circ 47'$ .

Длина дуги:

$$S = \frac{\pi R \beta}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 11,357 \cdot 63^\circ 47'}{180^\circ} = 12,637 \text{ м.}$$

При  $\frac{B}{S} = 1,58$  по табл. 1 коэффициент

$$e = 1,5 - \frac{1,5 - 1,25}{2,0 - 1,5} \cdot (1,58 - 1,50) = 1,46.$$

2) Нагрузки и допускаемые напряжения.

а) Снеговая  $p_s = 45 \text{ кг/м}^2$ .

б) Постоянная: вес кровли  $g_{кр} = 70 \text{ кг/м}^2$ . Собственный вес [ф-за (82)]:

$$g_{cs} = \frac{p_s + g_{кр}}{\frac{1000}{k_{cs} l} - 1} = \frac{112 + 70}{\frac{1000}{10 \cdot 12} - 1} = 25 \text{ кг/м}^2;$$

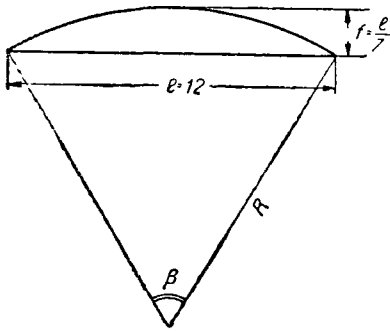
$$g = g_{кр} + g_{cs} = 95 \text{ кг/м}^2.$$

<sup>1</sup> Предложена доц. Д. А. Кочетковым.

в) Ветровая. Скоростной напор  $q_w = 40 \text{ кг/м}^2$ . Так как  $q_w < q$ , то ветровая нагрузка не учитывается.

г) Допускаемые напряжения на изгиб  $[n_u] = 110 \text{ кг/см}^2$  и на растяжение стальных затяжек  $[n_t] = 1260 \text{ кг/см}^2$ .

2. Изгибающие моменты  $M_a$  и нормальные силы  $N_a$  для свода длиной (по образующей) 1 м.



Фиг. 48. Схема свода

Расчетная схема нагрузок для определения  $M_a^{\text{max}}$  в левой половине свода приведена на фиг. 49.

1. Изгибающие моменты (в произвольном сечении свода):

а) от постоянной нагрузки по ф-ле (86):

$$M_a^g = M_0 - \frac{qgl^2}{8} = \eta \cdot 95 \cdot 12^2 - \frac{95 \cdot 12^2}{8} \alpha = 13680\eta - 1710\alpha,$$

где  $\eta$  — коэффициент по табл. 2, а  $\alpha = \frac{y}{f}$  — по табл. 3;

б) от снеговой нагрузки по ф-ле (87):

$$M = \frac{psl}{8} \left( x - \frac{al}{2} \right) = \frac{45 \cdot 12}{2} \left( x - \frac{12}{2} \right) = 67,5 (x - 6\alpha).$$

Расчетная величина изгибающего момента:

$$M_a = M_a^g + M_a^s.$$

Результаты вычислений  $M_a$  для сечений свода через 0,5л приведены в таблице  $M_a$  и  $N_a$ .

Таблица  $M_a$  и  $N_a$

| Координаты | x     | a   | Изгибающие моменты в кг |         |              | Углы $\varphi$ |                | Нормальные силы |         |              |
|------------|-------|-----|-------------------------|---------|--------------|----------------|----------------|-----------------|---------|--------------|
|            |       |     | $M_a^g$                 | $M_a^s$ | $\Sigma M_a$ | $\sin \varphi$ | $\cos \varphi$ | $N_a^g$         | $N_a^s$ | $\Sigma N_a$ |
| 0,60       | 0,202 | -17 | -41                     | -58     |              |                |                |                 |         |              |
| 1,20       | 0,379 | -32 | -73                     | -105    |              |                |                |                 |         |              |
| 1,80       | 0,530 | -30 | -93                     | -123    |              |                |                |                 |         |              |
| 2,40       | 0,658 | -31 | -104                    | -135    | 0,317        | 0,948          | 1053           | 245             | 1298    |              |
| 3,00       | 0,765 | -22 | -107                    | -129    |              |                |                |                 |         |              |
| 3,60       | 0,851 | -19 | -102                    | -121    |              |                |                |                 |         |              |
| 4,20       | 0,917 | -8  | -88                     | -96     |              |                |                |                 |         |              |
| 4,80       | 0,963 | -5  | -66                     | -71     |              |                |                |                 |         |              |
| 5,40       | 0,991 | -0  | -87                     | -37     |              |                |                |                 |         |              |

2) Нормальные силы  $N_a$  (в произвольном сечении свода):

а) от постоянной нагрузки по ф-ле (93):

$$N_a^g = Q_0 \sin \varphi +$$

$$+ H_g \cos \varphi = 11400 \sin \varphi + 997 \cos \varphi,$$

где:

$$H_g = \frac{gl^2}{8} = 95 \cdot 0,875 \cdot 12 = 997 \text{ кг (см. табл. 2)}$$

и

$$Q_0 = \theta gl = 95 \cdot 129 = 12400 (\theta \text{ по табл. 4});$$

б) от снеговой нагрузки (на полуцирчете) по ф-ле (95):

$$N_a^s = \frac{psl}{8} \sin \varphi + H_s \cos \varphi = \frac{45 \cdot 12}{8} \sin \varphi + \frac{45 \cdot 12^2 \cdot 7}{16 \cdot 12} \cos \varphi = 67,5 \sin \varphi + 236 \cos \varphi.$$

Расчетная величина нормальной силы:

$$N_a = N_a^g - N_a^s.$$

В таблице значение  $N_a$  вычислено только для сечения, соответствующего  $M_a^{\text{max}}$  (см. табл.  $M_a$  и  $N_a$ ).

В четверти пролета при равномерном нагружении всего свода снегом по ф-ле (93):

$$N_a^{\text{max}} = Q_0 \sin \varphi + H \cos \varphi = 120 \cdot 0,264 + 1470 \cdot 0,964 = 1526 \text{ кг},$$

где:

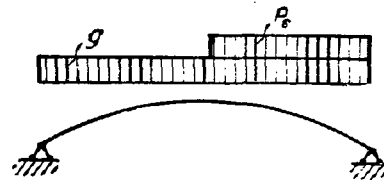
$$H = \frac{(g + ps) l^2}{8f} = (95 + 45) 0,875 \cdot 12 = 1470 \text{ кг};$$

$$Q_0 = \theta (g + ps) l = 0,25 \cdot 12 (95 + 45) = 420 \text{ кг};$$

$$\sin \varphi = 0,264$$

$$\cos \varphi = 0,964.$$

и



Фиг. 49. Расчетная схема нагружения

3. Расчет сетки и подбор сечения косяка.

1) Предварительный расчет

Для предварительного расчета принято:

а) Угол  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\sin \alpha = 0,865$ ,  $\cos \alpha = 0,5$ ,  $\text{tg } \alpha = 1,732$ ;

б) высота косяка:

$$h = \frac{l}{60} = \frac{1200}{60} = 20 \text{ см};$$

принято

$$h = 21 \text{ см};$$

полушаг косяков по ф-ле (79):

$$C = \frac{3,1 \cos \alpha \sqrt{Rk} - 0,8h}{4 \sin \alpha} = \frac{3,1 \cdot 0,5 \sqrt{113,6 \cdot 21} - 0,8 \cdot 21}{4 \cdot 0,866} = 64,2 \text{ см}.$$

Приближенная длина косяка:

$$S_1 = \frac{2S}{\cos \alpha} = \frac{2 \cdot 14,2}{0,5} = 257 \text{ см.}$$

отношение  $\frac{S_k}{h} = \frac{257}{21} = 12 > 10$ .

Расчетный изгибающий момент по ф-ле (85):

$$M = \frac{C M_2^{\max}}{2 \sin \alpha} \cdot C = \frac{2 \cdot 135 \cdot 0,64}{1,46 \cdot 0,866} = 137 \text{ мм.}$$

Соответствующая этому моменту нормальная сила:

$$N_k = \frac{N_2 C}{\sin \alpha} = \frac{1398 \cdot 0,65}{0,866} = 975 \text{ кг.}$$

Принято сечение косяка  $5 \times 21$  см.

Гибкость свода [по ф-ле (101)]:

$$\lambda = \frac{0,5S}{r} = \frac{0,5 \cdot 14,24}{4,4} = 1,64,$$

где:

$$r = 0,243 h \sin \alpha = 0,243 \cdot 21 \cdot 0,866 = 4,4 \text{ см}$$

Площадь:

$$F_k = 5 \cdot 21 = 105 \text{ см}^2.$$

Момент сопротивления:

$$W_k = 367 \text{ см}^3.$$

Напряжение в косяке [по ф-ле (104)]:

$$n = \frac{N_k}{F_k} + \frac{M_k}{W_k \left(1 - \frac{2,2}{3 \cdot 100} \cdot \frac{N_k}{F_k} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}\right)}$$

$$= \frac{975}{105} + \frac{137 \cdot 100}{367 \left(1 - \frac{2,2}{3 \cdot 100} \cdot \frac{975}{105} \cdot \frac{1}{0,5}\right)} = 100 \text{ кг/см}^2.$$

Нормальная сжимающая сила в четверти пролета при загрузении всего свода:

$$N_k^{\max} = \frac{N_2^{\max} C}{\sin \alpha} = \frac{1526 \cdot 0,65}{0,866} = 1150 \text{ кг.}$$

Расчетное напряжение по ф-ле (105):

$$n = \frac{N_k^{\max}}{0,866 F_k} \left(\frac{S}{h \sin \alpha}\right)^2 = \frac{1150}{0,866 \cdot 105} \left(\frac{14,24}{21 \cdot 0,866}\right)^2 = 104 \text{ кг/см}^2 < 110.$$

Угол  $\Delta\beta$  при  $\Delta h = 0,5 h$  по ф-ле (17):

$$\operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2} = \frac{0,5h}{\left(C + \frac{b}{\sin \alpha}\right) \operatorname{tg} \alpha}$$

$$= \frac{0,5 \cdot 21}{\left(64,2 + \frac{5}{0,866}\right) \cdot 1,732} = 0,051985;$$

$$\Delta\beta = 5^\circ 57'.$$

Крайние углы:

$$\Delta\beta_2 = \Delta\beta - \Delta\beta_k = 5^\circ 57' - 0,47' = 5^\circ 10',$$

где:

$$\operatorname{tg} \Delta\beta_k = \left[ \left( \frac{0,25}{\cos \alpha} + \cos \alpha \right) b + 10 \right] \frac{1}{R} =$$

$$= \left[ \left( \frac{0,25}{0,5} + 0,50 \right) \cdot 5 + 10 \right] \frac{1}{1,15} = 0,013204$$

и

$$\Delta\beta_k = 0^\circ 47';$$

число  $n$  углов  $\Delta\beta$ :

$$n = \frac{\beta - 2,1\beta_0}{\Delta\beta} = \frac{63^\circ 47' - 2 \cdot 5^\circ 10'}{5^\circ 57'} = 9;$$

при  $n = 9$  получим:

$$\Delta\beta = \frac{\beta + 2,1\beta_0}{n + 2} = \frac{63^\circ 47' + 2 \cdot 0^\circ 47'}{9 + 2} = 5^\circ 16';$$

$$\Delta\beta_0 = \frac{\beta - n\Delta\beta}{2} = \frac{63^\circ 47' - 9 \cdot 5^\circ 16'}{2} = 5^\circ 11,5'.$$

2) Точный расчет

Принято:

$$\Delta\beta = 5^\circ 56'; \quad \Delta\beta_0 = 5^\circ 11,5'; \quad \sin \Delta\beta = 0,103371;$$

$$\cos \Delta\beta = 0,991643;$$

$$\operatorname{tg} \Delta\beta = 0,103928, \quad \operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2} = 0,051824, \quad \alpha = 60^\circ.$$

Полушар косяков по ф-ле (15'):

$$C = \frac{\sin \Delta\beta \cos \alpha (2R - h) - b (2 \cos \Delta\beta - 1)}{2 \sin \alpha \cos \Delta\beta} =$$

$$= \frac{0,103371 \cdot 0,5 (2 \cdot 11357 - 210) - 5 (2 \cdot 0,991643 - 1)}{2 \cdot 0,866 \cdot 0,991643} = 646,5 \text{ мм.}$$

Положение нижней кромки гнезда по ф-ле (16):

$$\Delta h = \left( C + \frac{b}{\sin \alpha} \right) \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2} =$$

$$= \left( 646 + \frac{50}{0,866} \right) \cdot 1,732 \cdot 0,051824 = 63 \text{ мм.}$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{63}{210} = 0,3 \text{ (см. фиг. 8).}$$

Напряжения в косяках вторично не проверяется, так как величины  $C$  и  $\alpha$ , принятые в предварительном расчете, оставлены без изменения.

4. Размеры косяков (определяются в мм).

1) Величины, входящие в формулы для определения размеров косяков:

$$C = 646 \text{ мм}; \quad R = 11357 \text{ мм}; \quad \alpha = 60^\circ;$$

$$\sin \alpha = 0,866; \quad \cos \alpha = 0,5; \quad \operatorname{tg} \alpha = 1,732;$$

$$\Delta\beta = 5^\circ 56'; \quad \sin \Delta\beta = 0,10357; \quad \cos \Delta\beta = 0,99164;$$

$$\operatorname{tg} \Delta\beta = 0,10393; \quad \operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2} = 0,05182; \quad \Delta\beta_0 = 5^\circ 11,5';$$

$$\operatorname{tg} \Delta\beta = 0,09086; \quad \Delta h = 63.$$

2) Основные косяки; № 1 — правый и № 1 — левый.

Длина  $S_1$  по нижней кромке по ф-ле (20):

$$S_1 = \frac{2 \left( C + \frac{b}{\sin \alpha} \right)}{\cos \alpha} =$$

$$= \frac{2 + \cos \Delta\beta + \operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg} \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} = \frac{2 \left( 646 + \frac{50}{0,866} \right)}{0,5} =$$

$$= 50 \frac{2 + 0,99164 + 1,732^2}{1,732 \cdot 1,99164} = 2727 \text{ мм.}$$

Угол наклона ребра торца косяка в плоскости его боковой грани по ф-ле (21):

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{\sin \Delta\beta}{\sin \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} = \frac{0,10337}{0,866 \cdot 1,99164} = 0,05984,$$

откуда:

$$\delta_1 = 3^\circ 25,5'; \quad \sin \delta_1 = 0,05974; \quad \cos \delta_1 = 0,99821.$$

Полная длина косяка по ф-ле (32):

$$S_1^0 = S_1 + 0,6h \operatorname{tg} \delta_1 = 2727 + 0,6 \cdot 210 \cdot 0,05974 = 2734 \text{ мм.}$$

Угол наклона нижнего ребра торца косяка в плоскости нижней кромки по ф-ле (6):

$$\operatorname{ctg} \psi = \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha \cdot \cos \Delta \beta}{\operatorname{tg} \alpha (1 + \cos \Delta \beta)} = \frac{1,7322 - 0,99464}{1,732 \cdot 1,99464} = 0,58036; \sin \psi = 0,865.$$

Длина проекции нижнего ребра торца на нижнее ребро косяка:

$$d_0 = b \operatorname{ctg} \psi = 50 \cdot 0,58036 = 29 \text{ мм.}$$

Размеры шипа:

толщина —  $0,3h = 0,3 \cdot 210 = 63 \text{ мм};$

$$\frac{0,3h}{\cos \delta_1} = \frac{63}{0,998} = 63.$$

Длина  $l_0$  от нижней точки шипа до крайнего ребра торца косяка:

$$l_0 = \frac{b}{\sin \alpha \cos \alpha (1 + \cos \Delta \beta)} = \frac{50}{0,866 \cdot 0,5 \cdot 1,99464} = 58 \text{ мм.}$$

Глубина врезки нижней кромки по ребру торца косяка по ф-ле (23):

$$\Delta = \frac{l_0 \sin \alpha \sin \Delta \beta}{\cos \delta_1} = \frac{58 \cdot 0,866 \cdot 0,10337}{0,99821} = 5 \text{ мм.}$$

Стрелка косяка по середине его длины по ф-ле (26):

$$f = \Delta h - \Delta \cos \delta_1 = 63 - 5 \cdot 0,99821 = 58 \text{ мм.}$$

Проекция крайнего ребра торца косяка: вертикальная по ф-ле (27):

$$h_0 = h - f = 210 - 58 = 152 \text{ мм};$$

горизонтальная по ф-ле (28):

$$e_0 = h_0 \operatorname{tg} \delta_1 = 152 \cdot 0,05984 = 9 \text{ мм.}$$

Угол наклона верхней кромки косяка по ф-ле (30):

$$\operatorname{tg} V = \frac{4f}{S_7} = \frac{4 \cdot 58}{2629} = 0,08824,$$

где по ф-ле (31):

$$S_7 = S_1 - 2l_0 + 2e_0 = 2727 - 2 \cdot 58 + 2 \cdot 9 = 2629; 0,25S_7 = 657 \text{ мм.}$$

Длина гнезда по ф-ле (22):

$$l_k = 2(l_0 + 0,3h \operatorname{tg} \delta_1) = 2(58 + 63 \cdot 0,05984) = 124 \text{ мм.}$$

Крайние косяки.

1) Косяк № 2.

Угол наклона ребра опорного торца по ф-ле (50):

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{\operatorname{tg} \Delta \beta_0}{\sin \alpha} = \frac{0,09086}{0,566} = 0,10492.$$

В плоскости нижней кромки ребро торца наклонено под углом  $\alpha$ ; длина:

$$d_2 = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{50}{1,732} = 29 \text{ мм.}$$

По ф-ле (52) высота:

$$h_2 = \frac{h - (S_2 + 0,3d_2 - 0,25S_2) \operatorname{tg} V}{1 + \operatorname{tg} \delta_2 \operatorname{tg} V} = \frac{210 - (1180 - 14,5 - 6,57) \cdot 0,08824}{1 + 0,10492 \cdot 0,08824} = 162 \text{ мм,}$$

где:

$$S_2 = \left(R - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \delta_2 = (11357 - 105) \cdot 0,10492 = 1180 \text{ мм.}$$

По ф-ле (53) длина:

$$e_2 = h_2 \operatorname{tg} \delta_2 = 162 \cdot 0,10492 = 17 \text{ мм.}$$

Полная длина косяка по ф-ле (54):

$$S_2^0 = \frac{S_1^0}{2} + S_2 + \frac{d_2}{2} + e_2 = \frac{2734}{2} + 1180 + 14,5 + 17 = 2578 \text{ мм.}$$

1) Косяк № 3.

Угол наклона ребра опорного торца по ф-ле (55):

$$\operatorname{tg} \delta_3 = \frac{\operatorname{tg} \alpha (1 \beta - \Delta \beta_0)}{\sin \alpha} = \frac{\operatorname{tg} (5^\circ 55' - 5^\circ 11,5')}{0,866} = \frac{0,012945}{0,866} = 0,01495;$$

$$\cos \delta_3 = 0,99989.$$

В плоскости верхней кромки нижнее ребро торца наклонено под углом  $\alpha$ :

$$d_3 = d_2 = 29 \text{ мм.}$$

Длина:

$$S_3 = \left(R - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \delta_3 = (11357 - 105) \cdot 0,01495 = 168 \text{ мм.}$$

так как

$$S_3 < 0,25S_7 = 657,$$

то

$$h_3 = h = 210 \text{ мм.}$$

По ф-ле (56):

$$\text{длина: } e_3 = h_3 \operatorname{tg} \delta_3 = 210 \cdot 0,01495 = 3 \text{ мм.}$$

Полная длина косяка по ф-ле (60):

$$S_3^0 = \frac{S_1^0}{2} + S_3 + \frac{d_3}{2} = 1367 + 168 + 14,5 = 1550 \text{ мм.}$$

3) Косяк № 4.

Углы наклона  $\delta$  ребер торца, примыкающего к обвязочной арке: по ребру  $b$  угол:

$$\delta_1 = \delta_1,$$

по ребру  $d$  имеем:

$$\operatorname{tg} \delta_d = \operatorname{tg} \Delta \beta \sin \alpha = 0,10393 \cdot 0,866 = 0,0900.$$

По ф-ле (61):

$$d_{bc} = \frac{b \operatorname{ctg} \psi}{2 \cos \Delta \beta} = \frac{d_0}{2 \cos \Delta \beta} = \frac{29}{2 \cdot 0,99464} = 15 \text{ мм.}$$

$$\frac{d_{bc}}{\operatorname{ctg} \psi} = \frac{15}{0,58036} = 26 \text{ мм.}$$

По ф-ле (62):

$$d_{cd} = b \operatorname{tg} \alpha \left(1 - \frac{1}{2 \cos \Delta\beta}\right) =$$

$$= 50 \cdot 1,732 \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 0,99464}\right) = 43 \text{ мм.}$$

Высота:

$$h_b = h_0 = 152 \text{ мм.}$$

По ф-ле (63):

$$h_d = h_0 + (d_{bc} + d_{cd}) \operatorname{tg} V =$$

$$= 152 + (15 + 43) \cdot 0,08824 = 157 \text{ мм.}$$

По фиг. 37:

$$e_b = e_0 = 9 \text{ мм}$$

и

$$e_d = h_d \operatorname{tg} \delta_d = 157 \cdot 0,09 = 14 \text{ мм.}$$

Полная длина косяка по ф-ле (65):

$$S_1^0 = S_1^0 - l_0 - 0,3h \operatorname{tg} \delta_1 + e_0 =$$

$$= 2734 - 58 - 0,3 \cdot 210 \cdot 0,05984 + 9 = 2681 \text{ мм.}$$

4) Косяк № 5.

Ребра торца, примыкающего к обвязочной арке, образуют с нижним ребром косяка угол  $90^\circ$ .  
Угол:

$$\delta_5 = 0$$

и высота:

$$h_5 = h = 210 \text{ мм.}$$

Угол наклона нижнего ребра торца к нижнему ребру косяка равен  $90^\circ - \alpha$ ;  
длина:

$$d_5 = b \operatorname{tg} \alpha = 50 \cdot 1,732 = 87 \text{ мм.}$$

Полная длина косяка по ф-ле (71):

$$S_5^0 = \frac{S_1^0 - d_5}{2} = \frac{2734 - 100}{2} = 1417 \text{ мм.}$$

5) Косяк № 6 (см. чертеж сетки примера).

Опорный торец этого косяка совершенно одинаков с соответствующим ему торцом левого косяка № 3, а торец, примыкающий к обвязочной арке, — с торцом косяка № 4.

Полная длина косяка по ф-ле (72):

$$S_6^0 = S_3^0 - (S_1^0 - S_4^0) = 1213 - (2734 - 2681) =$$

$$= 1460 \text{ мм.}$$

5. Врубki в обвязочных брусьях (мауэрлатах).

Угол наклона опорной площадки врубки:

$$\beta_0 = \frac{\beta}{2} = \frac{63^\circ 47'}{2} = 31^\circ 53,5';$$

$$\sin \beta_0 = 0,52831;$$

$$\cos \beta_0 = 0,84905;$$

$$\operatorname{tg} \beta_0 = 0,62224.$$

Необходимые по конструктивным требованиям размеры брусев по ф-лам (73)—(74):

высота:

$$h_{\min} = \frac{h}{\cos \delta_3} \cos \beta_0 = \frac{210}{0,99989} \cdot 0,84905 = 178 \text{ мм.}$$

ширина:

$$b_{\min} = \frac{h}{\cos \delta_3} \sin \beta_0 = \frac{210}{0,99989} \cdot 0,52831 = 111 \text{ мм.}$$

Глубина врубки:

$$\delta_{ep} = b_{\min} \cos \beta_0 = 111 \cdot 0,84905 = 94 \text{ мм.}$$

Длина опорной площадки поверху по ф-ле (77):

$$l_e = \frac{S_3 \cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)}{\cos \Delta\beta} + \frac{b}{2 \sin \alpha} - \frac{h_3}{\cos \delta_3} \sin \varrho =$$

$$= \frac{168 \cdot 0,5 \cdot 1,99464}{0,99464} + \frac{50}{2 \cdot 0,866} - \frac{162}{0,9945} \cdot 0,0299 =$$

$$= 168 + 29 - 5 - 192 \text{ мм,}$$

где по ф-ле (78):

$$\operatorname{tg} \varrho = \frac{\sin \Delta\beta \cos \delta_3}{\sqrt{\cos^2 \Delta\beta + \operatorname{tg}^2 \alpha}} =$$

$$= \frac{0,1034 \cdot 0,9945}{\sqrt{0,99464^2 + 1,732^2}} = 0,0514$$

и

$$\sin \varrho = 0,0514.$$

Длина опорной площадки понизу по ф-ле (78).

$$l_n = l_e + \frac{2\delta_{ep} \operatorname{tg} \varrho}{\sin 2\beta_0} = 192 + \frac{2 \cdot 94 \cdot 0,0514}{0,89713} = 203 \text{ мм.}$$

По ф-ле (80) длина:

$$l_3 = \frac{\delta_{ep}}{\cos \delta_3 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{94}{0,99989 \cdot 1,732} = 54 \text{ мм}$$

и по ф-ле (79) длина:

$$l_2 = \delta_{ep} \left[ \frac{1}{\cos \delta_3 \operatorname{tg} \alpha} + (\operatorname{tg} \beta_0 - \operatorname{tg} \delta_3) \operatorname{tg} \varrho \right] =$$

$$= 94 \left[ \frac{1}{0,9945 \cdot 1,732} + (0,62224 - 0,10492) \cdot 0,0514 \right] = 58 \text{ мм.}$$

Расстояние между врубками:

$$S_{ep} = 2C = 2 \cdot 646 = 1292 \text{ мм.}$$

Расстояния от линии центров узлов по ф-лам (79') и (80'):

$$u_c = (S_3 + e_3) \cos \alpha + l_3 + \frac{b}{2 \sin \alpha} =$$

$$= (168 + 3) \cdot 0,5 + 54 + \frac{25}{0,866} = 168 \text{ мм.}$$

$$u_{np} = l_e + l_3 + l_2 - u_c =$$

$$= 192 + 54 + 58 - 168 = 136 \text{ мм.}$$

6. Расчетная величина распора.

1. Собственный вес свода  $g_{ce}$  в  $\text{кн/м}^2$  горизонтальной проекции покрытия по ф-ле (82):

$$g_{ce} = \frac{b(h_0 + h)S}{2lC \sin \alpha} \cdot \gamma_g =$$

$$= \frac{0,05(0,152 + 0,210) \cdot 12,64 \cdot 550}{2 \cdot 12 \cdot 0,646 \cdot 0,866} = 9,38 \approx 9,5 \text{ кн/м}^2,$$

где  $\gamma_g = 550 \text{ кн/м}^3$  — объемный вес древесины.

2. Распор:

$$H = \frac{(p_s + g_{np} + g_{ce}) l^2}{8f} =$$

$$= \frac{(45 + 70 + 9,5) \cdot 12^2 \cdot 7}{8 \cdot 12} = 1300 \text{ кн/м.}$$

На один узел:

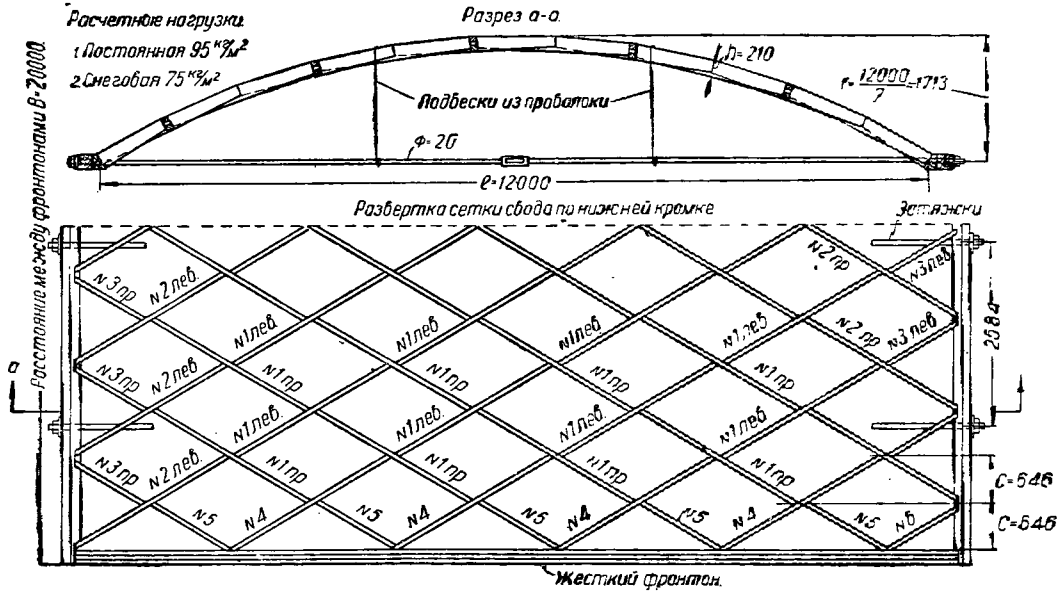
$$H_y = 2HC = 2 \cdot 1300 \cdot 0,646 = 1680 \text{ кн.}$$

7. Подбор сечения затяжек и мауэрлата

Принято сечение  $\varnothing 20$  мм с осадкой концов под нарезку до  $\varnothing 25,4$  мм.  
Площадь сечения затяжки:

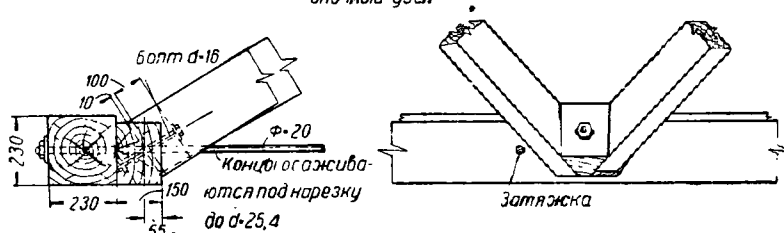
1) Затяжки расположены через  
 $4C = 4 \cdot 0,646 = 2,58$  м.

$$F_3 = \frac{\pi d^2}{4} = 3,14 \text{ см}^2$$

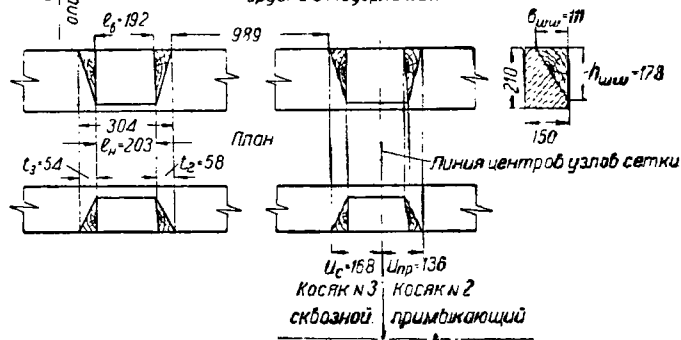


а)

Опорный узел



Врубка в мауэрлате:



б)

Фиг. 50. К примеру расчета

Усилие, приходящееся на одну затяжку:

$$N = 4HC = 2,58 \cdot 1300 = 3360 \text{ кг.}$$

Допускаемое напряжение:

$$[n_+] = 0,9 \cdot 1400 = 1260 \text{ кг/см}^2.$$

То же по нарезке:

$$F_n = 3,575 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$n_+ = \frac{3360}{3,14} = 1070 \text{ кг/см}^2.$$



2) Мауэрлат имеет расчетный пролет:

$$l_m = 2,58 \text{ м.}$$

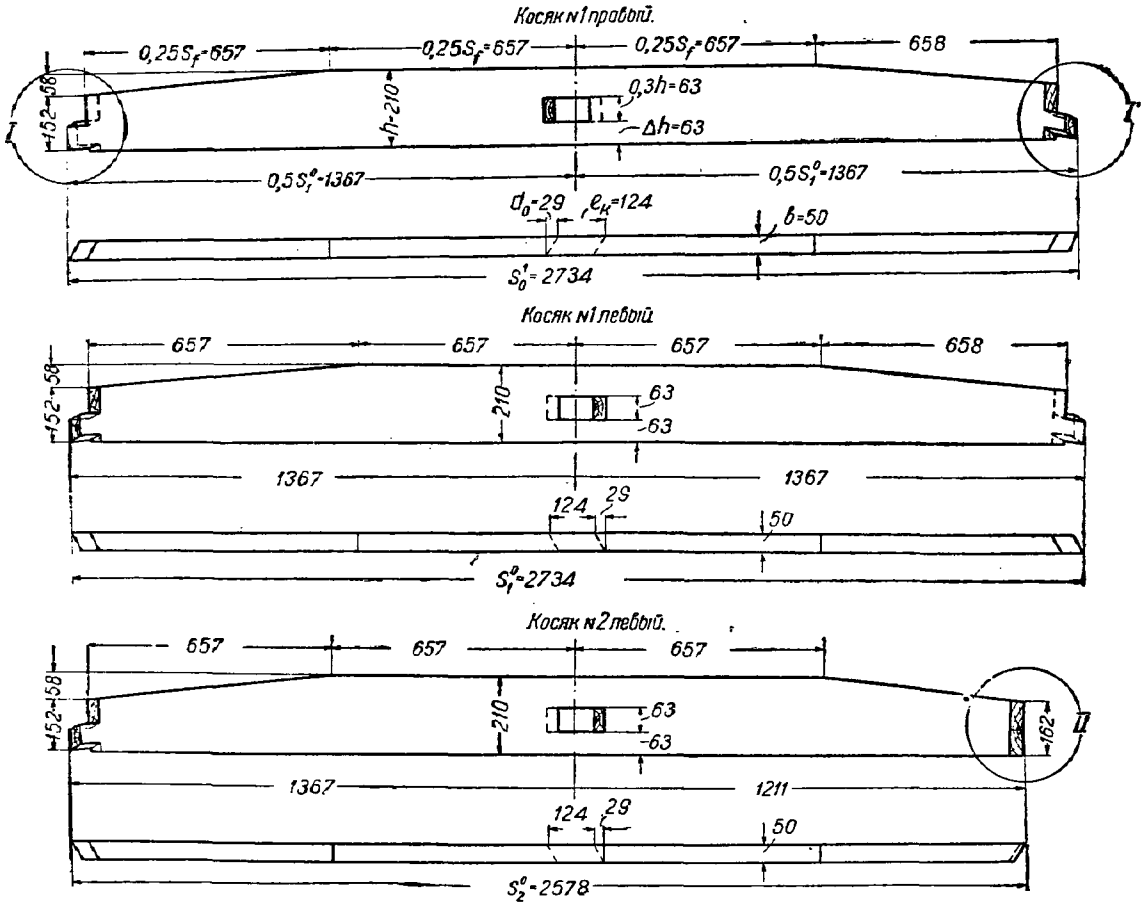
Изгибающий момент:

$$M = \frac{3860 \cdot 2,58}{4} = 2170 \text{ кгм.}$$

Величина нагрузки по ф-ле (106):

$$p_d = \left(1 - \frac{0,7}{e}\right) p_{ce} B_0 = \\ = \left(1 - \frac{0,7}{1,46}\right) \cdot 45 \frac{20}{2} = 234 \text{ кг/м.}$$

Рабочие чертежи свода приведены на фиг. 50—51.



Фиг. 51а. К примеру расчета

Необходимый момент сопротивления:

$$W_x = \frac{217000}{110} = 1970 \text{ см}^3.$$

Принято сечение 23 × 23 см:

$$W_{\text{норм}} = \frac{(23 - 2) \cdot 23^2}{6} = 1850 \text{ см}^3.$$

Напряжение:

$$n_u = \frac{217000}{1850} = 117 \text{ кг/см}^2$$

(перенапряжение 6%).

8. Схема и величина нагрузки на фронтоны

Конструкция фронтона рассчитывается в данном случае только на одностороннюю снеговую нагрузку.

**Пример 2.** Проект цилиндрического свода с централизованной сеткой

Расчет свода

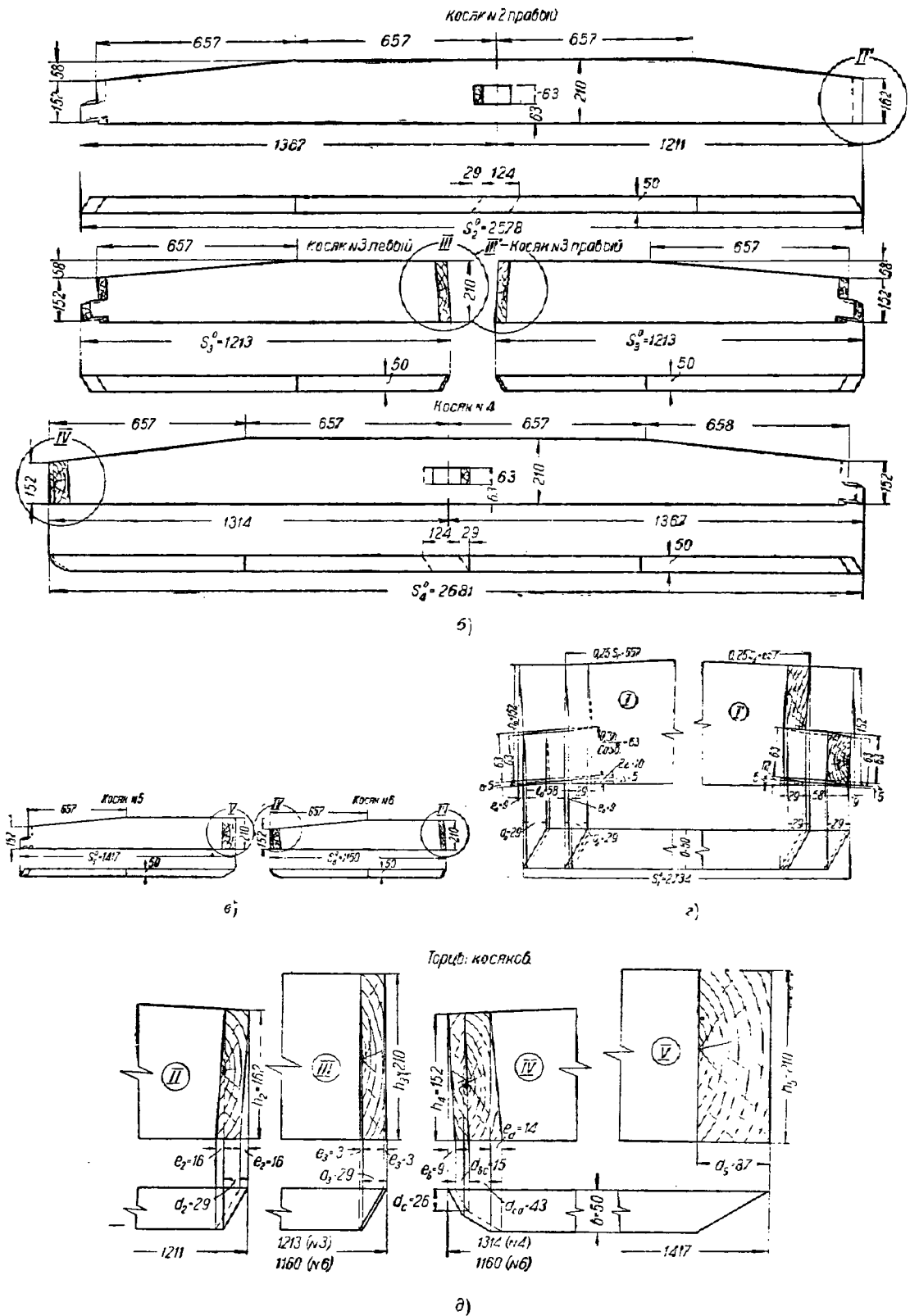
1. Схема и расчетные данные приняты такими же, как и в примере 1.
2. Изгибающие моменты  $M_a$  и нормальные силы  $N_a$  приведены там же.
3. Расчет сетки и подбор сечения косяка.

1) Предварительный расчет  
Для предварительного расчета принято:  
угол  $\alpha = 67^\circ 30'$ ;  $\sin \alpha = 0,92388$ ;  $\cos \alpha = 0,38264$ ;

$$\operatorname{tg} \alpha = 2,41421.$$

Высота косяка:

$$h \approx \frac{l}{70} = \frac{1200}{70} = 17 \text{ см.}$$



Фиг. 51. К примеру расчета

Полушаг косяков [Ф-ла (19)]:

$$C = \frac{0,547 \sqrt{2R-h} h}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,15}{\sin \alpha} =$$

$$= \frac{0,547 \sqrt{(2 \cdot 1136 - 17) \cdot 17}}{2,414} = \frac{0,15 \cdot 17}{0,924} = 41,5 \text{ см.}$$

Приближенная длина косяка:

$$S_k = \frac{2 \cdot C}{\cos \alpha} = \frac{2 \cdot 41,5}{0,388} = 216 \text{ см.}$$

Отношение:

$$\frac{S_k}{L} = \frac{216}{17} = 12,7 > 10.$$

Расчетный изгибающий момент [Ф-ла (85)]:

$$M_k = \frac{2M_c^{\max}}{e \sin \alpha} \cdot C = \frac{2 \cdot 135 \cdot 0,415}{1,46 \cdot 0,924} = 83 \text{ кг·м.}$$

Соответствующая этому моменту нормальная сила:

$$N_k = \frac{N_2 C}{\sin \alpha} = \frac{1298 \cdot 0,415}{0,924} = 584 \text{ кг.}$$

Принято сечение косяка  $5 \times 17 \text{ см.}$

Гибкость свода [Ф-ла (104)]:

$$\lambda = \frac{0,5S}{r} = \frac{0,5 \cdot 1264}{3,5} = 166.$$

где:

$$r = 0,243h \sin \alpha =$$

$$= 0,243 \cdot 17 \cdot 0,924 = 3,8 \text{ см.}$$

Площадь:

$$F_k = 5 \cdot 17 = 85 \text{ см}^2.$$

Момент сопротивления:

$$W_k = 241 \text{ см}^3.$$

Напряжение в косяке по Ф-ле (101):

$$n = \frac{584}{85} + \frac{8300}{241 \left( 1 - \frac{166^2}{3100} \cdot \frac{584}{85 \cdot 110} \right)} = 85 \text{ кг/см}^2.$$

Нормальная сжимающая сила в четверти пролета при загрузении всего свода:

$$N_k^{\max} = \frac{1526 \cdot 0,415}{0,924} = 686 \text{ кг.}$$

Расчетное напряжение по Ф-ле (105):

$$n_- = \frac{686}{508 \cdot 85} \cdot \left( \frac{1264}{17 \cdot 0,924} \right) = 103 < 110 \text{ кг/см}^2.$$

Угол  $\Delta\beta$  при  $\Delta h = 0,3h$  по Ф-ле (17):

$$\operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2} =$$

$$= \frac{0,3h}{\left( C + \frac{b}{\sin \alpha} \right) \operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,3 \cdot 17}{\left( 41,5 + \frac{5}{0,924} \right) 2,414} =$$

$$= 0,04485;$$

$$\Delta\beta = 5^{\circ}08'.$$

Крайние углы:

$$\Delta\beta_0 = \Delta\beta - \Delta\beta_k = 5^{\circ}08' - 0^{\circ}50' = 4^{\circ}18',$$

где:

$$\operatorname{tg} \Delta\beta_k = \frac{1}{R} \left( \frac{b}{2 \cos \alpha} + 10 \right) =$$

$$= \frac{1}{1136} \left( \frac{5}{2 \cdot 0,388} + 10 \right) = 0,01455$$

и

$$\Delta\beta_k = 0^{\circ}50'.$$

Число  $n$  углов  $\Delta\beta$ :

$$n = \frac{\beta - 2\Delta\beta_0}{\Delta\beta} = \frac{63^{\circ}47' - 2 \cdot 4^{\circ}18'}{5^{\circ}08'} = 10,7;$$

при  $n = 10$  получим:

$$\Delta\beta = \frac{\beta + 2\Delta\beta_0}{n + 2} = \frac{63^{\circ}47' + 2 \cdot 0^{\circ}50'}{10 + 2} = 5^{\circ}27';$$

$$\Delta\beta_0 = \frac{\beta - n\Delta\beta}{2} = \frac{63^{\circ}47' - 10 \cdot 5^{\circ}27'}{2} = 4^{\circ}38,5'.$$

2) Точный расчет

Принято:

$$\Delta\beta = 5^{\circ}27';$$

$$\Delta\beta_0 = 4^{\circ}38,5';$$

$$\sin \Delta\beta = 0,09498;$$

$$\cos \Delta\beta = 0,99548;$$

$$\operatorname{tg} \Delta\beta = 0,009541;$$

$$\operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2} = 0,04759;$$

$$\alpha = 67^{\circ}30'.$$

Полушаг косяков по Ф-ле (15):

$$C = \frac{R - 0,5h}{\operatorname{tg} \alpha} \operatorname{tg} \Delta\beta =$$

$$= \frac{11357 - 0,5 \cdot 170}{2,41421} \cdot 0,009541 = 445 \text{ мм.}$$

Положение нижней кромки гнезда по Ф-ле (16):

$$\Delta h = \left( C + \frac{b}{\sin \alpha} \right) \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2} =$$

$$= \left( 445 + \frac{50}{0,92388} \right) \cdot 2,41421 \cdot 0,04759 = 57 \text{ мм.}$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{57}{170} = 0,335 \text{ (Фиг. 8).}$$

Расчетное напряжение в косяке по Ф-ле (105):

$$n_- = \frac{103}{0,415} \cdot 0,445 = 110 \text{ кг/см}^2.$$

4. Размеры косяков.

1) Величины, входящие в формулы для определения размеров косяков:

$$C = 445 \text{ мм.}$$

$$R = 11357 \text{ мм.}$$

$$\alpha = 67^{\circ}30';$$

$$\sin \alpha = 0,92388;$$

$$\cos \alpha = 0,38264;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 2,41421;$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = 0,41421;$$

$$\begin{aligned} \Delta\beta &= 5^\circ 27'; \\ \sin \Delta\beta &= 0,09498; \\ \cos \Delta\beta &= 0,99548; \\ \operatorname{tg} \Delta\beta &= 0,09541; \\ \operatorname{tg} \frac{\Delta\beta}{2} &= 0,04759; \\ \Delta\beta_0 &= 4^\circ 38,5'; \\ \operatorname{tg} \Delta\beta_0 &= 0,08119; \\ \Delta h &= 57 \text{ мм}; \\ \text{угол } \sigma &= 45^\circ; \\ \operatorname{tg} \sigma &= 1,00; \\ \sin \sigma &= 0,7071. \end{aligned}$$

2) Основные косяки: № 1 — правый и № 1 — левый.

Длина  $S_1$  по нижней кромке по ф-ле (46):

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{2C}{\cos \alpha} - \frac{b}{\operatorname{tg} \sigma} = \\ &= \frac{2 \cdot 445}{0,38264} + \frac{50}{1,00} = 2326 + 50 = 2376 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Угол наклона торца косяка в плоскости его боковой грани по ф-ле (21):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_1 &= \frac{\sin \Delta\beta}{\sin \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} = \\ &= \frac{0,09498}{0,92388 \cdot 1,99548} = 0,05162; \end{aligned}$$

$$\delta_1 = 2^\circ 57'; \quad \sin \delta_1 = 0,05146; \quad \cos \delta_1 = 0,99867.$$

Угол наклона нижнего ребра торца косяка в плоскости нижней кромки по ф-ле (6):

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \psi &= \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha - \cos \Delta\beta}{\operatorname{tg} \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} = \\ &= \frac{2,41421^2 - 0,99548}{2,41421 \cdot 1,99548} = 1,003; \end{aligned}$$

$$\sin \psi = 0,7081; \quad \cos \psi = 0,706$$

и

$$\psi = 45^\circ 05'.$$

По ф-ле (37') длина:

$$d_{ин} = l_0 + i_{ин} = 71 + 14,6 = 86 \text{ мм},$$

где по ф-ле (22):

$$\begin{aligned} l_0 &= \frac{b}{\sin \alpha \cos \alpha (1 + \cos \Delta\beta)} = \\ &= \frac{50}{0,92388 \cdot 0,38264 \cdot 1,99548} = 71 \text{ мм} \end{aligned}$$

и по ф-ле (33):

$$\begin{aligned} i_{ин} &= \frac{b}{2} (\operatorname{ctg} \sigma - \operatorname{ctg} \alpha) = \\ &= \frac{50}{2} (1 - 0,41421) = 14,6 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Наибольшая глубина проишла от нижней кромки косяка по ф-ле (23''):

$$\begin{aligned} 2\Delta &= 2 l_0 \frac{\sin \alpha \sin \Delta\beta}{\cos \delta_1} = \\ &= \frac{2 \cdot 71 \cdot 0,92388 \cdot 0,09498}{0,99857} = 12 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Размеры шипа по ребру торца косяка:

$$\frac{0,3h}{\cos \delta_1} = \frac{0,3 \cdot 170}{0,99867} = 51 \text{ мм}.$$

Длина проекции:

$$d_0 = b \operatorname{ctg} \psi = 50 \cdot 1,003 = 50 \text{ мм}.$$

Стрелка косяка по середине его длины по ф-ле (26):

$$f = \Delta h - \Delta \cos \delta_1 = 57 - \frac{1^2}{2} \cdot 0,99867 = 51 \text{ мм}.$$

Проекция крайнего ребра торца косяка: вертикальная по ф-ле (27):

$$h_0 = h - f = 170 - 51 = 119 \text{ мм};$$

горизонтальная:

$$e_0 = h_0 \operatorname{tg} \delta_1 = 119 \cdot 0,05152 = 6 \text{ мм};$$

$$d'_0 = b \operatorname{ctg} \psi = 50 \cdot 1,003 = 50 \text{ мм}.$$

Длины отрезков по ф-ле (34):

$$\begin{aligned} z_{ин} &= \frac{y \sin \sigma}{\sin (\psi - \sigma)} = \\ &= \frac{14,6 \cdot 0,7071}{\sin (45^\circ 05' - 45^\circ)} = \frac{14,6 \cdot 0,7071}{1} = 10,3 \text{ мм}; \end{aligned}$$

по ф-ле (35):

$$\begin{aligned} z_0 &= z_{ин} - \frac{f_0}{\operatorname{tg} \delta_1} = \\ &= 10,3 - \frac{119}{0,99867} \cdot 0,05152 = 4 \text{ мм}; \end{aligned}$$

по ф-ле (36):

$$i_0 = \frac{z_0 \sin (\psi - \sigma)}{\sin \alpha} = \frac{4}{0,7071} = 5,7 \text{ мм}.$$

Размеры проилов от нижней кромки косяка: по ф-ле (41):

$$\Delta_1 = \Delta \left( 1 - \frac{i_{ин}}{l_0} \right) = \frac{12}{2} \left( 1 - \frac{14,6}{71} \right) = 5 \text{ мм};$$

по ф-ле (40):

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \left[ \Delta \cos \delta_1 \left( 1 + \frac{z_{ин} \sin \psi}{b} \right) \Delta_1 \right] - \\ &\quad - \frac{d_{ин} - d_0 + i_{ин}}{d_{ин} - d_0 + z_{ин} \cos \psi} \Delta_1 = \\ &= \left[ 6 \cdot 0,9987 \left( 1 + \frac{10,3 \cdot 0,708}{50} \right) - 5 \right] \frac{86 - 50 + 14,6}{86 - 50 + 10,3 \cdot 0,706} + \\ &\quad + 5 = 6,5 \approx 7 \text{ мм}; \end{aligned}$$

по ф-ле (24) высота:

$$h_{ин} = \frac{0,3h}{\cos \delta_1} = \frac{0,3 \cdot 170}{0,992} = 51 \text{ мм};$$

по ф-ле (38) размер:

$$\alpha = d_{ин} - d_0 - e_0 = 86 - 50 - 6 = 30 \text{ мм}.$$

По ф-ле (44) и (45) длина проекций:

$$e_{ин} = (h_{ин} + \Delta_1) \sin \omega = (51 + 5) \cdot 0,125 = 7 \text{ мм};$$

$$y_{ин} = (h_{ин} - \Delta_1) \cos \omega = 56 \cdot 0,992 = 56 \text{ мм},$$

где  $\cos \omega$  определяется через  $\operatorname{tg} \omega$  по ф-ле (39):

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{e_0 + i_{ин} - i_0}{h_0} = \frac{6 + 14,6 - 5,7}{119} = 0,12605;$$

$$\cos \omega = 0,992; \quad \sin \omega = 0,125.$$

Полная длина косяка по ф-ле (47):

$$S_f^c = S_1 + 2e = 2376 + 2 \cdot 7 = 2390 \text{ мм.}$$

Угол наклона верхней скошенной кромки по ф-ле (30):

$$\text{tg } V = \frac{4f}{S_f} = \frac{4 \cdot 51}{2391} = 0,08828,$$

где:

$$S_f = S_1 - 2a = 2376 - 2 \cdot 30 = 2316;$$

$$\frac{S_f}{4} = 579 \text{ мм.}$$

Длина гнезда по ф-ле (48):

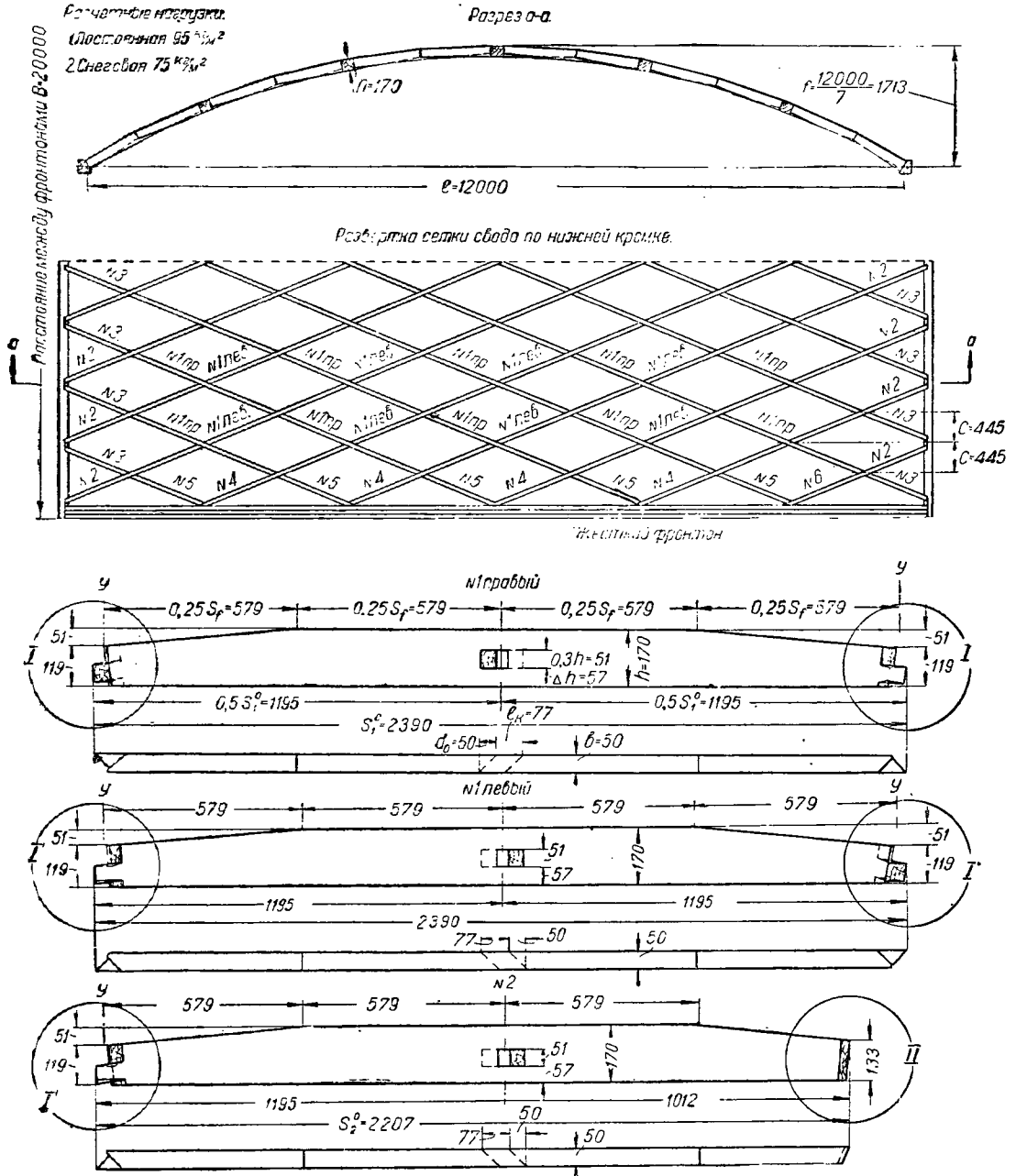
$$\begin{aligned} l_k &= l_0 \cos \Delta\beta + 3\Delta \sin \delta_1 + 0,6h \text{ tg } \delta_1 = \\ &= 71 \cdot 0,99548 + 3 \cdot 6 \cdot 0,05146 + \\ &+ 0,6 \cdot 170 \cdot 0,05152 = 77 \text{ мм.} \end{aligned}$$

3) Крайние косяки

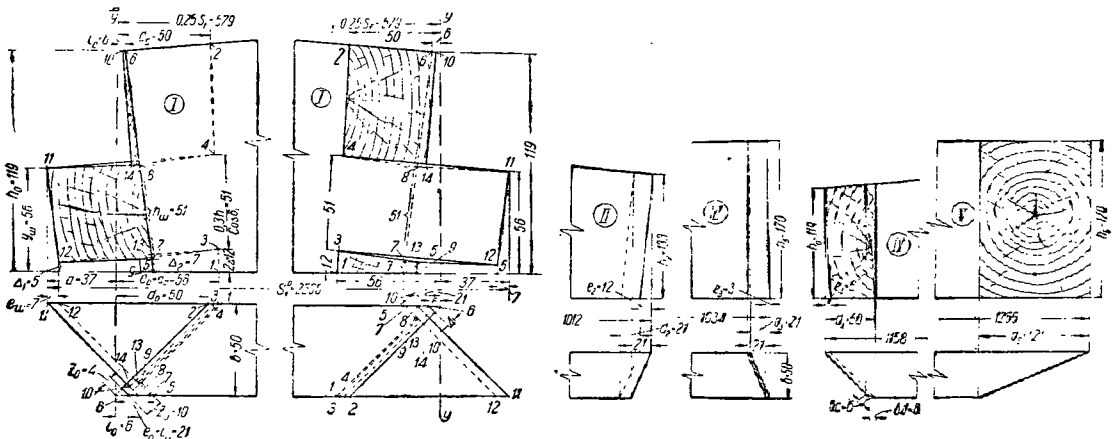
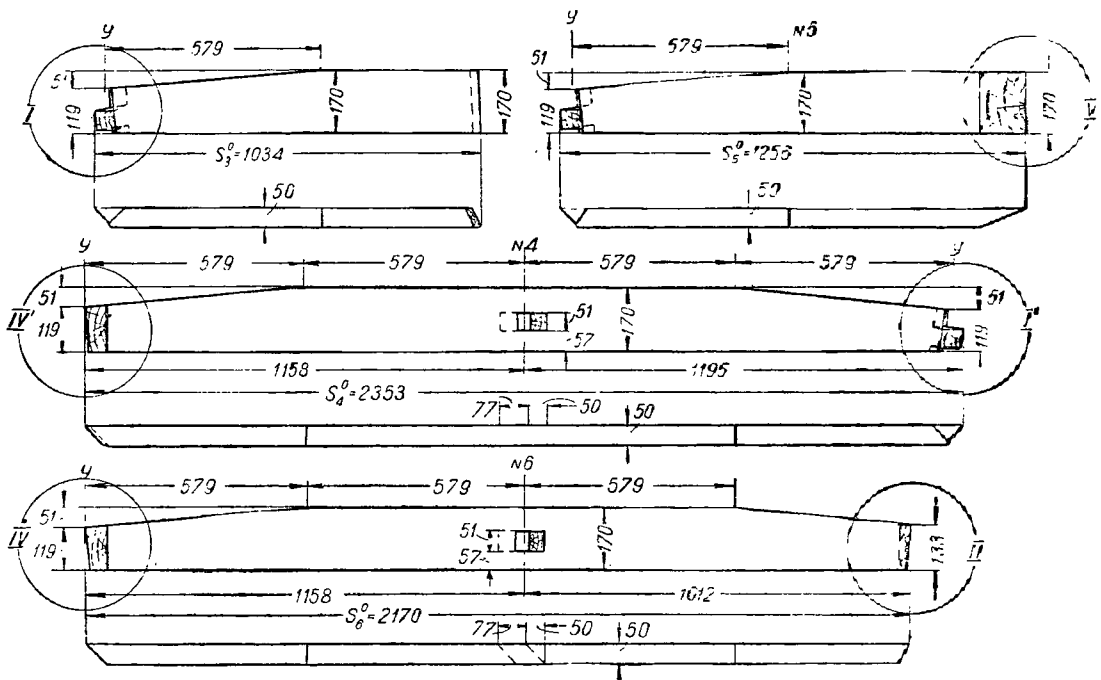
а) Косяк № 2

Угол наклона опорного торца по ф-ле (50):

$$\text{tg } \delta_2 = \frac{\text{tg } \Delta\beta_0}{\sin \alpha} = \frac{0,08119}{0,92388} = 0,08788.$$



Фиг. 53а. К примеру расчета



Фиг. 526. К примеру расчета

Нижнее ребро торца наклонено к нижнему ребру косыка под углом  $\alpha$ .

Длина:

$$d_2 = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{50}{2,41424} = 21 \text{ мм.}$$

По ф-ле (52) высота:

$$h_2 = \frac{h - (S_2 + 0,5d_2 - 0,25S_1) \operatorname{tg} V}{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} V} = \frac{170 - (991 + 0,5 \cdot 21 - 0,25 \cdot 2314) \cdot 0,08828}{1 + 0,08788 \cdot 0,08828} = 133 \text{ мм,}$$

где:

$$S_2 = \left( R - \frac{h}{2} \right) \operatorname{tg} \delta_2 - (11357 - 85) \cdot 0,08788 = 991 \text{ мм.}$$

По ф-ле (53) длина:

$$e_2 = h_2 \operatorname{tg} \delta_2 = 133 \cdot 0,08788 = 12 \text{ мм.}$$

Полная длина косыка по ф-ле (54):

$$S_2^0 = \frac{S_2^2}{2} + S_2 + \frac{c_2^2}{2} - c_2 = 1195 + 991 + 10,5 + 12 = 2207 \text{ мм.}$$

б) Косык № 3

Угол наклона опорного торца по ф-ле (55):

$$\operatorname{tg} \delta_3 = \frac{\operatorname{tg} (\delta_0 - \beta_0)}{\sin \alpha} = \frac{\operatorname{tg} (5^\circ 27' - 4^\circ 38,5')}{0,92388} = \frac{0,01411}{0,92388} = 0,01527.$$

Нижнее ребро торца наклонено к нижнему ребру косыка под углом  $\alpha$ .

Длина:

$$d_3 = d_2 = 21 \text{ мм;}$$

длина:

$$S_3 = \left(R - \frac{h}{2}\right) \operatorname{tg} \delta_3 = (11\,357 - 85) \cdot 0,01527 = \\ = 172 < \frac{S_1}{4} = 579 \text{ мм.}$$

Следовательно:

$$h_3 = h = 170 \text{ мм.}$$

По ф-ле (59) длина:

$$e_3 = h \operatorname{tg} \delta_3 = 170 \cdot 0,01527 = 3 \text{ мм.}$$

Полная длина косяка по ф-ле (60):

$$S_3^0 = \frac{S_1^0}{2} - S_3 + \frac{d_3}{2} = \\ = 1\,195 - 172 + 1,5 = 1\,034 \text{ мм.}$$

в) Косяк № 4

Угол наклона крайнего (острого) ребра торца, примыкающего к обвязочной арке:

$$\delta_4 = \delta_1.$$

Высота:

$$h_4 = h_3 = 119 \text{ мм.}$$

По ф-ле (67) длина:

$$bc = \frac{h_0}{\cos \alpha_1} \operatorname{tg} \delta_1 = \frac{119}{0,99557} \cdot 0,01512 = 6 \text{ мм.}$$

По ф-ле (68) длина:

$$bd = bc \frac{\cos \alpha \sin \varphi}{b} l_0 = \\ = 6 \cdot \frac{0,99548 \cdot 0,7081}{50} \cdot 71 = 6 \text{ мм.}$$

$$d_4 = d_0 = 50 \text{ мм;} \\ c_4 = c_0 = 6 \text{ мм.}$$

Полная длина косяка по ф-ле (69):

$$S_4^0 = S_1^0 - e_{3u} - d_{3u} + d_4 + c_4 = \\ = 2\,390 - 7 - 86 + 50 + 6 = 2\,353 \text{ мм.}$$

г) Косяк № 5

Ребра торца, примыкающего к обвязочной арке, расположены нормально к нижней кромке косяков:

угол:

$$\delta_5 = 0$$

и высота:

$$h_5 = h = 170 \text{ мм.}$$

Угол наклона нижнего ребра торца к нижнему ребру косяка равен  $90^\circ - \alpha$ .

Длина:

$$d_5 = b \operatorname{tg} \alpha = 50 \cdot 2,41421 = 121 \text{ мм.}$$

Полная длина косяка по ф-ле (71):

$$S_5^0 = \frac{S_1^0 + d_5}{2} = \frac{2\,390 + 121}{2} = 1\,256 \text{ мм.}$$

д) Косяк № 6

Опорный торец этого косяка совершенно одинаков с соответствующим ему торцом косяка № 2, а торец, примыкающий к обвязочной арке, — с торцом косяка № 4.

Полная длина косяка по ф-ле (72):

$$S_6^0 = S_2^0 - (S_1^0 - S_4^0) = \\ = 2\,207 - (2\,390 - 2\,353) = 2\,170 \text{ мм.}$$

5. Врубki в обвязочных брусках (мауэрлатах) рассчитываются так же, как и в сводах с нецелированной сеткой.

Дальнейший расчет свода здесь не приводится, так как он ничем не отличается от изложенного в примере 1.

Рабочие чертежи свода приведены на фиг. 52.

*Инж. М. Е. КАГАН*

### III. СВОДЫ-ОБОЛОЧКИ

#### 1 Общие сведения

Обычно применяемые в строительстве своды страдают рядом недостатков, ограничивающих область их применения.

Основным недостатком сводов является распор, возникающий в них под влиянием внешних сил (собственного веса, снега, ветра). Для восприятия распора приходится ставить металлические затяжки или контрфорсы. Металлические затяжки обычно требуют значительного расхода металла и затрудняют использование внутреннего габарита помещения; контрфорсы же (особенно в высоких зданиях) требуют больших затрат на добавочную каменную или бетонную кладку (иногда армированную) самих контрфорсов и фундаментов; кроме того при слабых грунтах устройство надежного основания под фундаменты представляет иногда большие затруднения.

Свод-оболочка является безраспорной конструкцией, не требующей ни затяжек, ни контрфорсов, ни несущих продольных стен. Отсутствие необходимости в несущих про-

дольных стенах является главным преимуществом сводов-оболочек, определяющим основные области их применения.

Прежде своды-оболочки выполнялись исключительно из железобетона; лишь за последние 3—4 года в СССР получило развитие строительство сводов-оболочек из дерева.

Малый объемный вес дерева при относительно большой крепости его вдоль волокон и производственные преимущества, в частности несложность и быстрота возведения при малых затратах на вспомогательные сооружения, являются большими преимуществами дерева по сравнению с железобетоном; кроме того малая теплопроводность дерева обеспечивает возможность одновременного использования деревянной оболочки как для конструктивных, так и для теплоограждающих целей.

В отношении пожарной безопасности деревянный свод-оболочка имеет по сравнению с решетчатыми конструкциями некоторые преимущества. Сплошная гладкая фанерная подшивка свода или штукатурка защищают его от влияния вы-

соких температур и огня, а беспустотность препятствует распространению пожара даже в случае воспламенения дерева.

Деревянные своды-оболочки применяются в виде: 1) тонкостенного свода-оболочки и 2) ребристого свода-оболочки.

Тонкостенный свод-оболочка<sup>1</sup> в основном является воспроизведением в дереве сводов-оболочек системы Цейсс-Дивидат и состоит из следующих основных элементов (фиг. 1):

1) собственно оболочки, криволинейной сетчатой пластинки из нескольких слоев досок, пересекающихся друг с другом и соединенных гвоздями, 2) бортовых элементов и 3) торцевых стен.

Собственно оболочка воспринимает все внутренние усилия в своде, а торцевые стены — опорные давления.

Тонкостенному своду-оболочке свойственен ряд недостатков, ограничивающих область его применения. Основными из них являются:

1. Необходимость закрепления бортового элемента для предотвращения его горизонтального смещения. Закрепление обычно осуществляется в виде специальной горизонтальной балки или фермы, работающей на весь пролет свода. Это обстоятельство ограничивает предел применимости тонкостенного свода-оболочки пролетами примерно до 40 м.

2. Осуществление прорезов в своде для светового или вентиляционного фонаря, а также подвеска сосредоточенных грузов к тонкостенному своду-оболочке конструктивно затруднены: световой фонарь требует устройства у прореза специального жесткого борта, а подвеска даже небольшого сосредоточенного груза — распределения давления от него на значительную площадь.

3. Сборка тонкостенных сводов-оболочек производится исключительно на стационарных лесах, расставленных по всему плану покрытия, что удорожает стоимость свода-оболочки, а иногда составляет препятствие к применению этой конструкции (особенно в случае необходимости иметь во время сборки свободную площадь пола).

От всех этих недостатков почти свободен ребристый свод-оболочка.

Ребристый свод-оболочка<sup>2</sup> представляет собой оболочку, по нижней поверхности которой расположены жесткие ребра, не имеющие опор в пятах и подвешенные по всей

длине к оболочке. Основными элементами ребристого свода-оболочки являются (фиг. 3б):

1) собственно оболочка, состоящая из продольного и косых настилов. Сплошных плит разреженных; по краям и в шельге оболочки имеются утолщения продольных настилов, которые воспринимают по краям растягивающие, а в шельге сжимающие усилия;

2) ребра в виде криволинейных брусков составного сечения со сплошной или решетчатой стенкой, расставленные по длине свода-оболочки;

3) торцевые стенки.

Жесткость свода-оболочки в продольном направлении определяется большим моментом инерции поперечного сечения свода, а в поперечном — моментом инерции ребер. Благодаря своей значительной жесткости ребра препятствуют горизонтальному смещению краев свода-оболочки от вертикальной (собственный вес, снег) и горизонтальной (ветер) нагрузок, исключая необходимость в горизонтальном закреплении борта. Вместе с тем жесткие ребра позволяют достаточно просто устраивать прорезы для вентиляционного или светового фонаря.

Подвеска сосредоточенных грузов к ребрам также не представляет конструктивных затруднений.

Возможность придания своду-оболочке постоянной достаточно мощных ребер весьма большой жесткости позволяет осуществлять ребристые оболочки значительных пролетов порядка 100—200 м.

Сборка ребристых сводов-оболочек может быть произведена при минимальном количестве лесов при условии использования ребер как монтажных арок.

## 2. Тонкостенные своды-оболочки

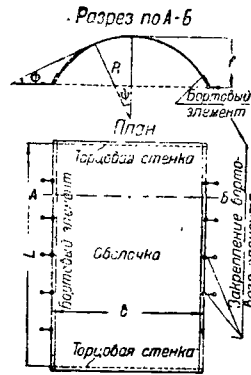
### 1) Описание конструкции

Опыты и теоретические исследования показывают, что края (бортовые элементы) тонкостенного свода-оболочки, свободно опертого на торцевые стены и не закрепленного по продольным сторонам, при воздействии внешних нагрузок получают большие горизонтальные (радиальные) перемещения. Эти перемещения должны быть предотвращены горизонтальным закреплением краев свода, которое не должно однако препятствовать смещению края в вертикальном направлении или по касательной. Закрепление может быть осуществлено различными способами, изложенными ниже.

При выборе очертания и основных размеров тонкостенного свода-оболочки необходимо учитывать следующее. Необходимая жесткость свода-оболочки должна быть обеспечена соответствующим выбором кривой поперечного сечения свода; при этом кривизна свода, особенно в местах приложения нагрузки, должна быть достаточно большой. Сравнивая эллиптическое, параболическое и круговое сечения, можно отметить следующее.

Эллиптическое сечение характеризуется малой кривизной в шельге и сравнительно большой — в пятах; поскольку нагрузка (снег) располагается главным образом в шельге свода, это обстоятельство легко может повлечь за собой сплющивание верхней части свода с последующей потерей устойчивости всей системы.

Параболическое сечение, напротив, характеризуется большой кривизной в шельге



Фиг. 1. Основные элементы тонкостенного свода-оболочки

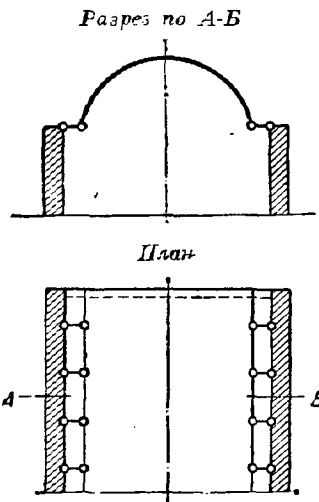
<sup>1</sup> Тонкостенный свод-оболочка был предложен и разработан в СДК ЦНИИС проф. Карлсеном Г. Г., инж. Каганом М. Е. и инж. Ершовым П. П. Одновременно и независимо от СДК ЦНИИС свод-оболочка был предложен и осуществлен инж. Фивк К. Д. в Ейске.

<sup>2</sup> Ребристый свод-оболочка был предложен и разработан в СДК ЦНИИС Ершовым П. П., Каганом М. Е., Карлсеном Г. Г., Коченовым В. М., Ленишным А. В. и Цыленковым И. А.



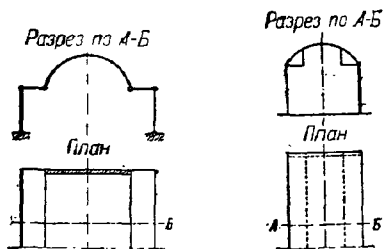
льге и малой -- в четвертях и пяте, что создает неблагоприятные условия работы для четверти и пяты свода, особенно при односторонней нагрузке.

Круговое сечение, имеющее постоянный радиус кривизны, ставит все элементы свода-оболочки в одинаковые условия работы, а потому



Фиг. 2. Схема закрепления края свода-оболочки при капитальных стенах

должно быть привнесено наиболее рациональным. Экспериментальные исследования показали, что благодаря постоянству радиуса кривизны оболочка кругового сечения оказывает наибольшее сопротивление потере устойчивости. Помимо указанных соображений постоянная кривизна сечения свода желательна также в целях уменьшения начального напряжения от выгиба досок.



Фиг. 3. Схема закрепления края свода-оболочки при кирпичных стенах

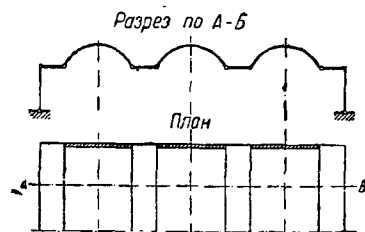
Фиг. 4. Схема закрепления края свода-оболочки при отсутствии продольных стен

На основании имеющихся опытных данных в тонкостенных подвешенных сводах-оболочках отношение пролета (длины)  $L$  оболочки к ее ширине  $B$  следует по возможности назначать не более  $\frac{L}{B} = 2.5 - 3$ ; чем положе выбрана кривая свода-оболочки, тем меньше должно быть взято отношение  $\frac{L}{B}$ .

Отношение высоты  $f$  свода-оболочки к расчетному пролету принимается примерно:

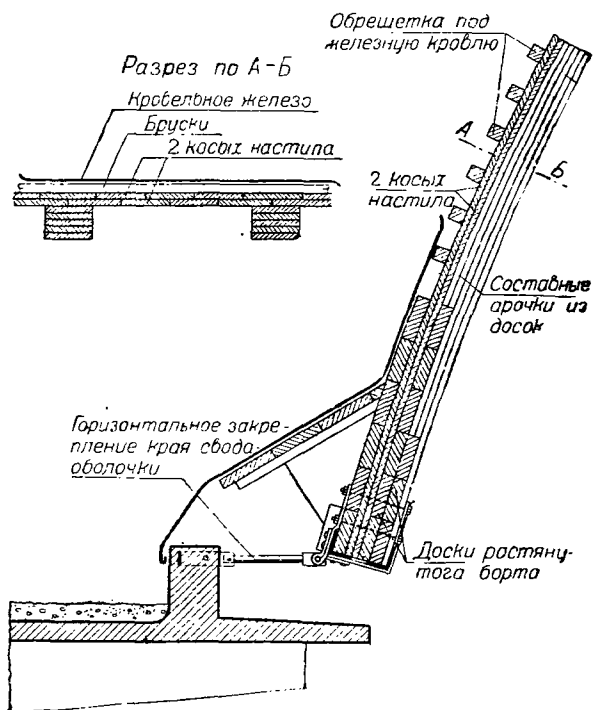
$$\frac{f}{L} = \frac{1}{5} - \frac{1}{6}$$

Схема свода-оболочки зависит от очертания плана перекрываемого здания. Для зданий малой протяженности нормальна однорядовая схема с продольным расположением оси свода. При такой схеме конструкция горизонтального закрепления бортов свода-оболочки зависит от наличия в здании продольных стен и от возможности восприятия ими распора. Возможные схемы закрепления изображены на фиг. 2—4, конструктивные детали их даны ниже.



Фиг. 5. Схема многорядового решения сводов-оболочек

Для зданий большой протяженности может применяться многорядовая схема (фиг. 5). Горизонтальное закрепление бортов осуществляется при такой схеме с помощью горизонтальных балок, закрепленных на торцевых стенах (вдоль здания) и подвешенных обоими краями к бортам



Фиг. 6. Конструкция тонкостенного свода-оболочки при железной кровле

смежных сводов-оболочек. Горизонтальное закрепление борта крайней оболочкой может быть осуществлено одним из способов, приведенных для однорядовой схемы.

Многорядовых решений тонкостенных сводов-оболочек следует по возможности избегать, так как снеговые мешки в ендовах между сводами

могут вызвать нежелательные деформации мало жесткой в поперечном направлении конструкции.

Конструкция тонкостенного свода-оболочки зависит от типа кровли и от наличия или отсутствия в своде-оболочке прорезов для светового или вентиляционного фонаря.

Конструкция свода-оболочки под железную кровлю обычно (фиг. 6) состоит из:

1) разреженного настила из брусьев, расположенных вдоль образующей свода, участвующих в работе конструкции и одновременно служащих для крепления железных листов кровли;

2) двойного косога настила, причем или один или оба слоя могут быть разрежены;

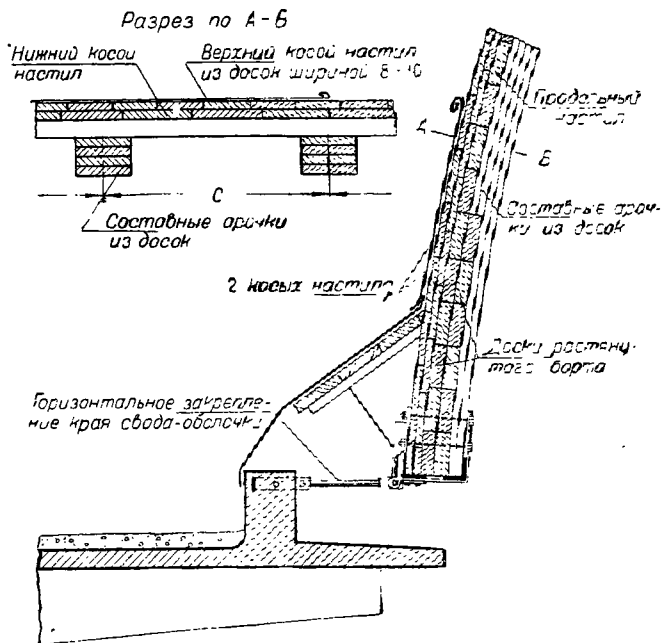
3) арок, несущих настилы из нескольких досок плашмя и расположенных по поперечному сечению свода-оболочки;

4) фанеры, подшитой снизу и дающей гладкую поверхность потолка.

В случае устройства прореза для светового или вентиляционного фонаря косога настил и продольные брусья у прореза прерываются; возникающие дополнительные усилия воспринимаются бортовыми элементами из нескольких рядов досок, расположенных вдоль края прореза по длине оболочки (фиг. 7). Арочки должны быть все или частично (по расчету) пронизаны через прорез.

Конструкция свода-оболочки под рубероидную кровлю состоит (фиг. 8) из: 1) двойного косога настила, причем нижний слой может быть разреженный, а верхний сплошной служит основой под рубероидную кровлю, 2) арок, расположенных по поперечному сечению свода, и 3) сплошной подшивки фанерой или досками.

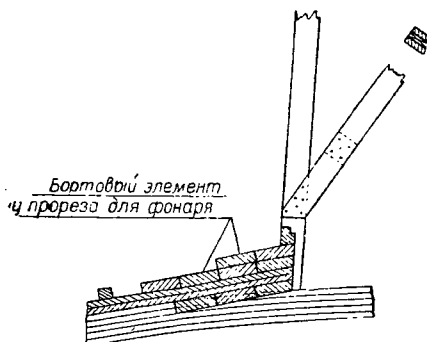
ных щитов, причем на пологих участках — в комбинации с вытяжками, сообщаящими поверхность свода-оболочки с наружным воздухом. Конструкция железной и рубероидной чешуйчатой



Фиг. 8. Конструкция тонкостенного свода-оболочки при рубероидной кровле

той кровли, а также вытяжек показана на фиг. 8а, 8б и 8в.

Во всех описанных типах конструкция закрепления края свода-оболочки может быть осуществлена различными способами.

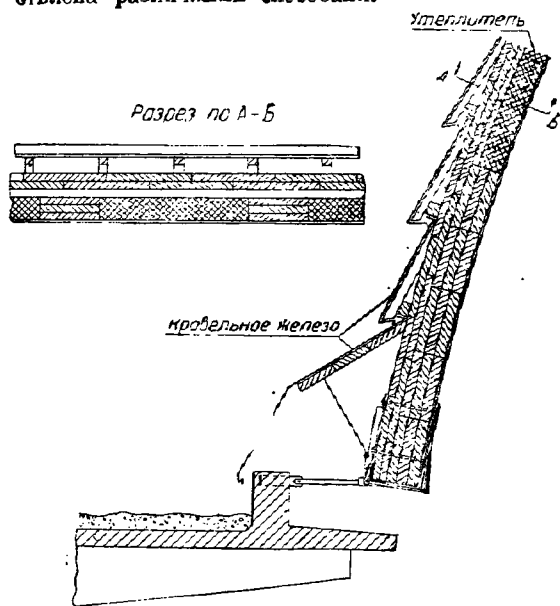


Фиг. 7. Деталь примыкания к фонарю

В обеих конструкциях кровля может быть как холодной, так и теплой. В последнем случае плиты утеплителя (фибrolит, сфагнит) располагаются между арочками.

Осушающий режим конструкции может быть обеспечен при углах наклона  $\alpha \geq 20^\circ - 30^\circ$  устройством так называемой «чешуйчатой» кровли: асбестово-шиферной, шиферной и т. п. При меньших углах наклона кровля устраивается обычного типа с осушающими продухами.

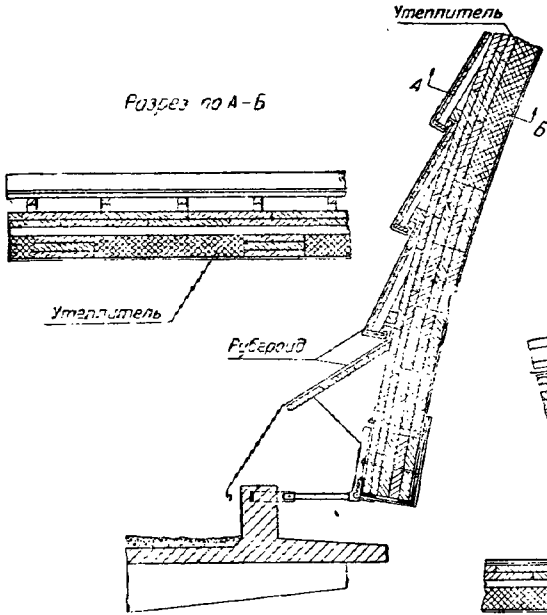
Возможно также устройство железной или рубероидной чешуйчатой кровли в виде специаль-



Фиг. 8а. «Чешуйчатая» железная кровля

При наличии капитальных устойчивых продольных стен горизонталь-

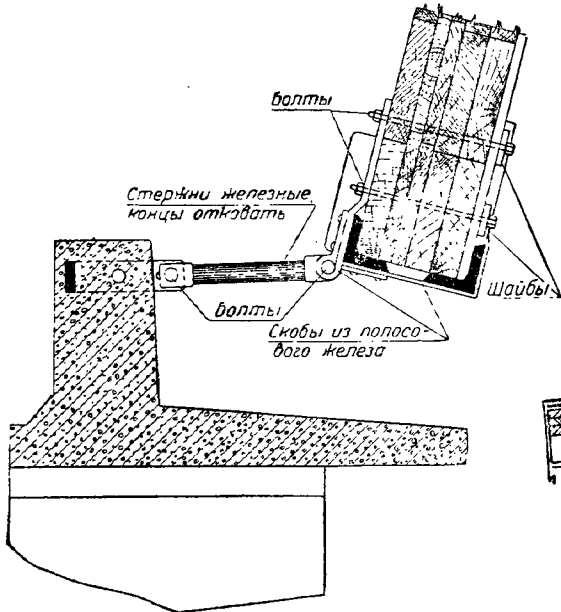
ное закрепление края может быть осуществлено рядом качающихся опор, расположенных по длине свода-оболочки (фиг. 9). Качающиеся опоры в виде отдельных металлических стержней



Фиг. 8б. «Чешуйчатая» рубероидная кровля

прикреплены здесь одним концом к железобетонным рамам, расположенным по бокам свода-оболочки, а другим концом — к бортовому элементу.

При наличии неустойчивых (карнасных) стен и при многорядовой схеме закреп-



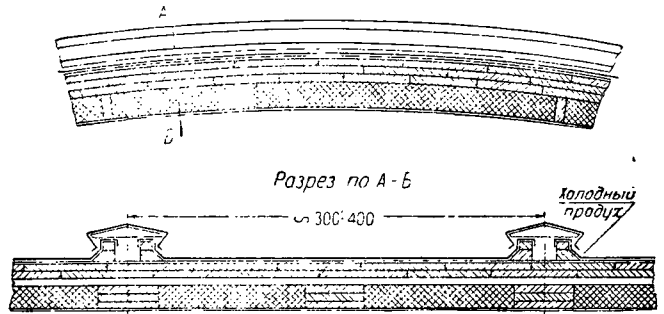
Фиг. 9. Качающиеся опоры для горизонтального закрепления края свода-оболочки

ление края свода-оболочки может быть достигнуто горизонтальной балкой в виде жесткой пло-

свой крыши (фиг. 10), которая или подвешивается обоими краями к свода-оболочке (многорядовая схема) или же одним краем подвешивается к борту свода-оболочки, а другим опирается на ограждающие стены. Горизонтальная балка закрепляется на торцевых стенах здания и работает на пролет, равный полной длине свода.

При отсутствии продольных стен горизонтальное закрепление края может быть осуществлено в виде горизонтальной фермы или балки, подвешенной обоими продольными краями к свода-оболочке (фиг. 11).

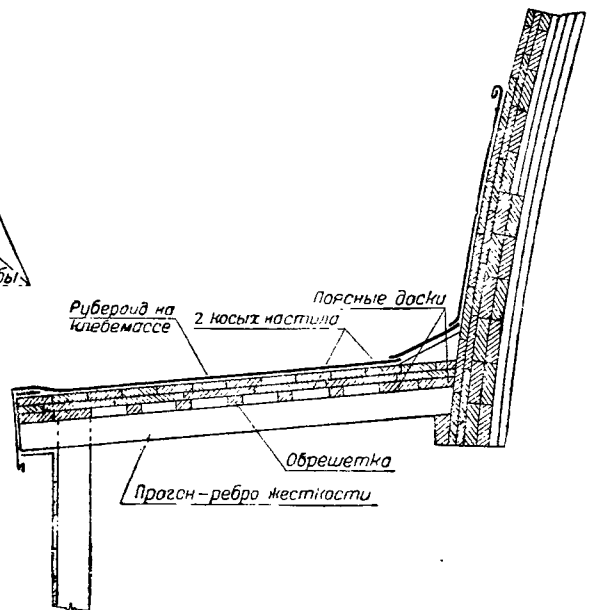
Ввиду неизбежности появления упругих и пластических деформаций свода-оболочке должен быть придан строительный подъем, максимальное значение которого в середине свода-оболочки принимается обычно равным  $f_{стр} \approx \frac{L}{200}$ .



Фиг. 8в. Рубероидная кровля по гидронированной фанере или защитному настилу и конструкция вытяжек

## 2) Определение внутренних усилий

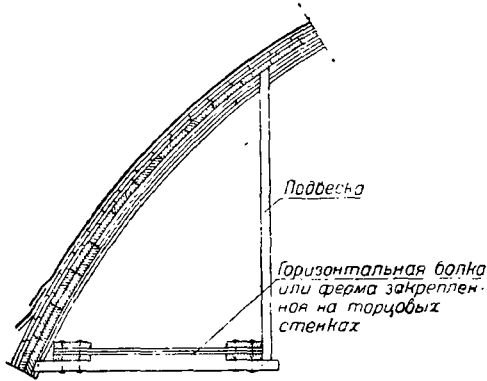
Внутренние усилия от внешней нагрузки могут быть определены приблизительно по безмо-



Фиг. 10. Горизонтальная балка-открылок для горизонтального закрепления края свода-оболочки

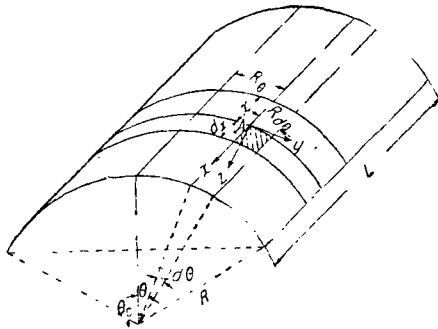
ментной или более точно по моментной теории расчета сводов-оболочек.

Вырезая двумя сечениями по образующей и в направлении поперечного сечения свода-оболочки элемент  $dx R d\theta$  (фиг. 11, а), заменяем воздействие отброшенной части на рассматриваемую нормальным усилием по длине свода-оболочки  $T_1$  нормальным усилием по поперечному сечению



Фиг. 11. Горизонтальная балка или ферма для горизонтального закрепления края свода-оболочки при отсутствии продольных стен

свода-оболочки  $T_2$ , касательными усилиями  $S_1$  и  $S_2$ , поперечными усилиями  $N_1$  и  $N_2$ , изгибающими моментами  $G_1$  и  $G_2$  и крутящими моментами  $H_1$  и  $H_2$  (фиг. 12 и 12, а). Точка А элемента свода-оболочки  $dx R d\theta$  определяется на поверхности координатами  $x$  и  $s = R\theta$



Фиг. 11а

Обозначения в принятой системе координат:  $x$  — координата по длине свода-оболочки;  $y$  — координата по касательной в точке А;  $z$  — координата по радиусу в точке А.

При расчете сводов-оболочек по безмоментной теории пренебрегают изгибающими моментами  $G_1$  и  $G_2$  и соответствующими им поперечными силами  $N_1$  и  $N_2$  и крутящими моментами  $H_1$  и  $H_2$  и учитывают только нормальные усилия  $T_1$  и  $T_2$  и касательные  $S$ .

Расчет тонкостенной свода-оболочки по безмоментной теории производится по следующим формулам:

1) от собственного веса свода-оболочки  $g$ , равномерно распределенного по его поверхности:

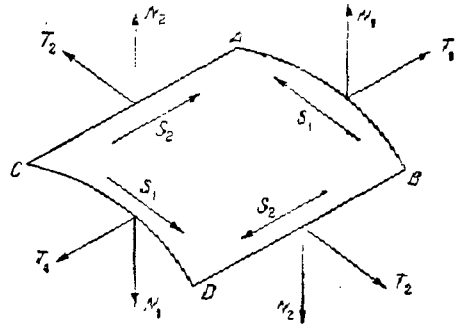
$$T_2 = -gR \cos \theta; \quad (1)$$

$$S = -2gx \sin \theta; \quad (2)$$

$$T_1 = \frac{-g(l^2 - x^2)}{R} \cos \theta; \quad (3)$$

$$Z = g(l^2 - x^2) \sin \theta; \quad (4)$$

2) от снеговой нагрузки  $p$ , распределенной по поверхности свода по закону косинуса:



Фиг. 12

$p = p_0 \cos \theta$ , где  $p_0$  — нагрузка на горизонтальную поверхность:

$$T_2 = -p_0 R \cos^2 \theta; \quad (5)$$

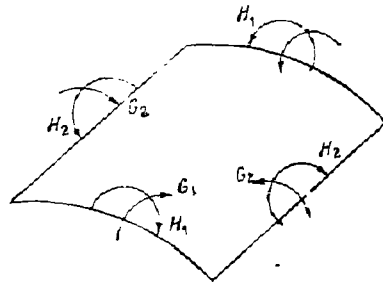
$$S = -1,5x p_0 \sin 2\theta; \quad (6)$$

$$T_1 = -1,5p_0(l^2 - x^2) \frac{\cos 2\theta}{R}; \quad (7)$$

$$Z = 1,5p_0 \frac{(l^2 - x^2)}{2} \sin 2\theta, \quad (8)$$

где  $Z$  — растягивающее усилие в бортовом элементе в кг;

$g$  и  $p$  — вертикальные нагрузки на  $1 \text{ м}^2$  поверхности свода-оболочки;



Фиг. 12а

$R$  — радиус окружности поперечного сечения свода-оболочки;

$L = 2l_1$  — длина свода-оболочки.

Начало координат принято по середине длины свода-оболочки.

Безмоментная теория не дает действительного распределения нормальных и касательных усилий в своде-оболочке, а потому ею можно пользоваться только для приближенных подсчетов.

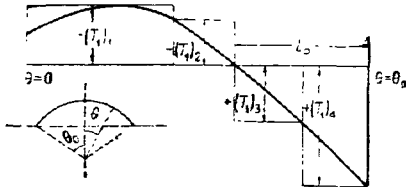
Опыт и теоретические исследования показали, что в круговой оболочке поперечные изгибающие моменты  $G_2$  существенно влияют на величину осевых сил, влияющие же на работу оболочки продольных изгибающих моментов  $G_1$  и крутящих моментов  $H_1$  и  $H_2$  незначительно и потому при расчете ими можно пренебречь.

Ввиду того что знание действительных величин и закона распределения усилий необходимо для правильного конструирования свода-обо-

ложки и в частности размещения гвоздей, расчет свода-оболочки следует вести по моментной теории<sup>1</sup>.

**3) Расчет элементов свода-оболочки**

При расчете принимают, что внутренние усилия, указанные на фиг. 12 и 12а, воспринимаются отдельными элементами свода-оболочки: нормальные усилия  $T_1$  — продольным настилом, касательные усилия  $S$  — двумя косыми настилами, нормальные усилия  $T_2$  и изгибающие моменты  $G_2$  — арочками



Фиг. 13. Разбивка поперечного сечения свода-оболочки на участки

**а) Продольные настилы**

Необходимую площадь поперечного сечения сжатого продольного настила определяют по максимальному усилию  $T_1$ . При разреженном настиле сжатая зона разбивается на несколько участков (фиг. 13), при сплошном настиле вся сжатая зона принимается за один участок.

Задаваясь размерами  $h$  и  $b$  досок или брусков разреженного настила, получаем расстояние между досками или брусками на участке 1:

$$c_1 = \frac{100hb}{(F_-)_1}; \tag{11}$$

на участке 2:

$$c_2 = \frac{100hb}{(F_-)_2}. \tag{12}$$

2) При сплошном продольном настиле:

$$F_- = \frac{(T_1)}{[n_-]} \tag{13}$$

и

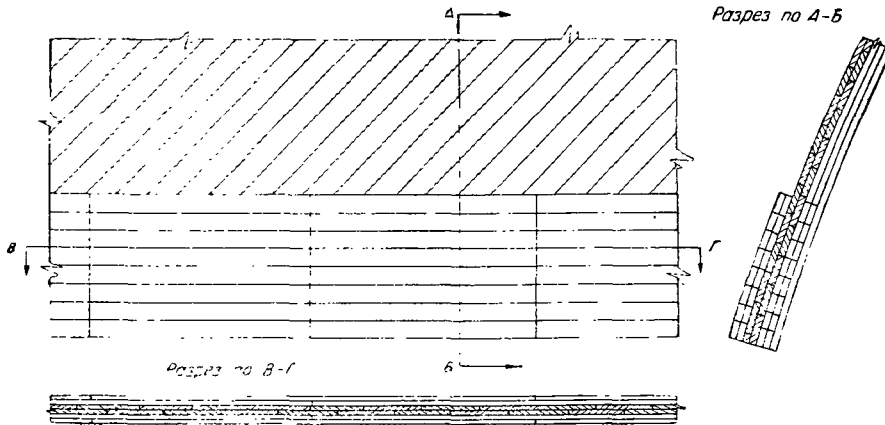
$$h = \frac{F_-}{100}. \tag{14}$$

При расчете сжатых настилов учитывается ослабление только гвоздями; ослабление стыками не учитывается, так как сжатые стыки осуществляются выривком с плотной приторцовкой.

Для максимального упрощения производства работ полученные размеры и расстояния между элементами продольного настила обычно оставляют постоянными по длине свода.

Растянутая зона свода-оболочки обычно разбивается на два приблизительно равных участка 3 и 4.

Участок 4 соответствует местоположению бортового элемента, воспринимающего наибольшие растягивающие усилия в своде-оболочке. Пло-



Фиг. 14. Расположение стыков в поясе при ослаблении наполовину. Доски пояса находятся по обе стороны косого настила

1) При разреженном продольном настиле:

$$(F_-)_1 = \frac{(T_1)_1}{[n_-]}; \tag{9}$$

$$(F_-)_2 = \frac{(T_1)_2}{[n_-]}, \tag{10}$$

где  $(F_-)_1$  — необходимая площадь поперечного сечения на 1 пог. см участка 1 в см<sup>2</sup>;

$(F_-)_2$  — то же на участке 2 в см<sup>2</sup>;

$(T_1)_1$  — максимальное значение нормального усилия на участке 1, отнесенного к ширине 1 см, в кг;

$(T_1)_2$  — то же на участке 2.

щадь сечения бортового элемента определяется по формулам:

$$(F_-)_{\text{нетто}} = \frac{(T_1)_4 l_p}{2 [n_-]}; \tag{15}$$

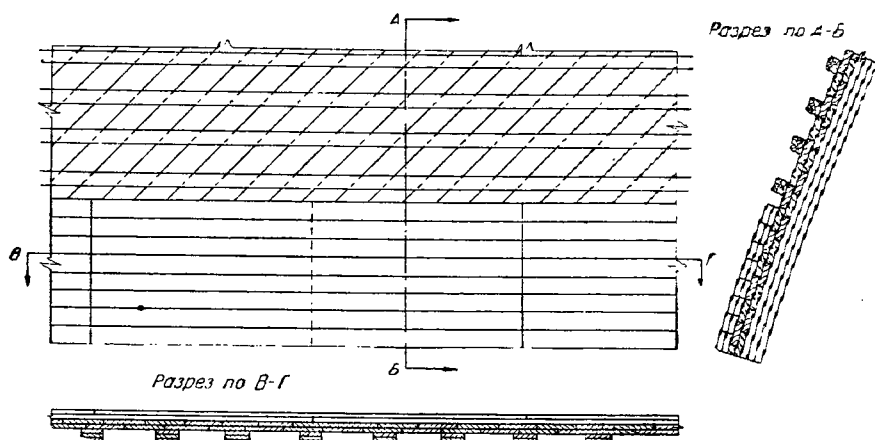
$$h = \frac{2F_{\text{нетто}}}{l_p}, \tag{16}$$

где  $(F_-)_{\text{нетто}}$  и  $h_{\text{нетто}}$  — площадь и толщина нетто бортового элемента;

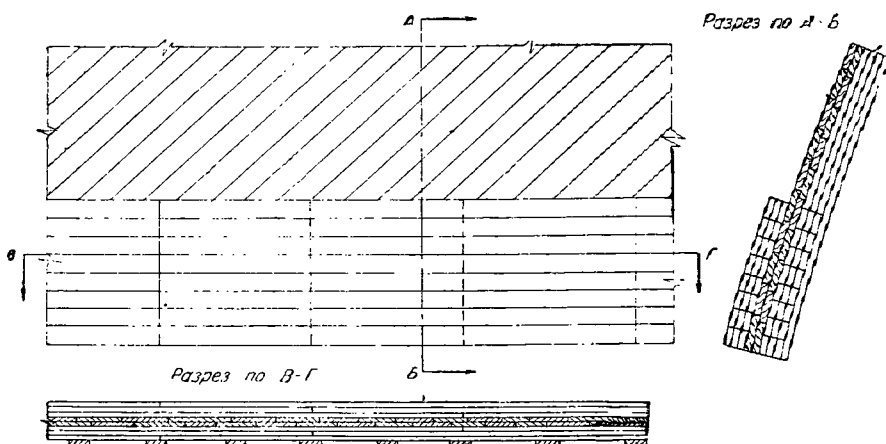
$\frac{l_p}{2}$  — длина растянутой зоны участка 1.

Необходимые  $F_{\text{брутто}}$  и  $h_{\text{брутто}}$  определяются в зависимости от способа перекрытия стыков. Наиболее рационально полное перекрытие стыка с каждой стороны косого настила (фиг 14, 14а, 15 и 15а).

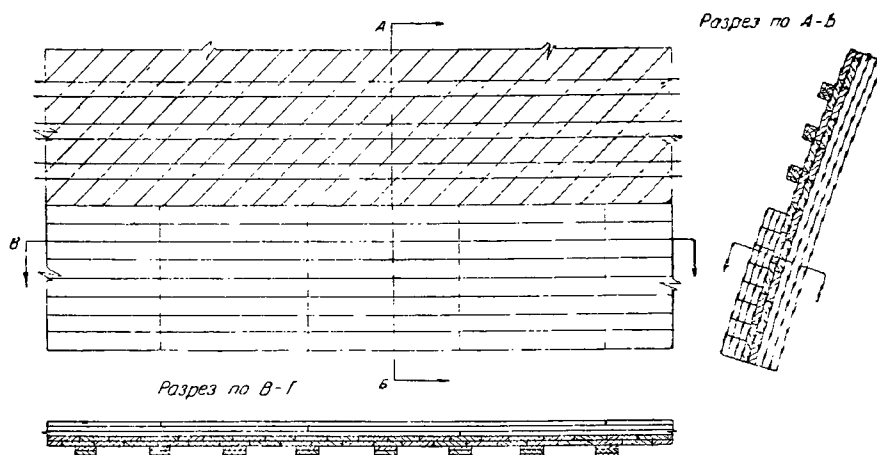
<sup>1</sup> См. «Расчет тонкостенных сводов-оболочек» в этом томе, а также «Перекрытия типа оболочек», т. IV.



Фиг. 14а. Доски находятся по одну сторону косого настила



Фиг. 15. Расположение стыков в поясе при ослаблении на одну треть. Доски пояса находятся по обе стороны косого настила



Фиг. 15а. Доски находятся по одну сторону косого настила

В случае перекрытия стыка на  $\frac{1}{2}$  длины доски (фиг. 14 и 14а):

$$F_{срутто} = 2F_{нетто}$$

В случае перекрытия стыка на  $\frac{1}{3}$  длины доски (фиг. 15, 15а):

$$F_{срутто} = \frac{3}{2} F_{нетто}$$

и т. д.

При определении  $F_{срутто}$  в общем случае необходимо учитывать ослабление досок бортового элемента гвоздями.

На участке  $3 F_{нетто}$  определяется по формуле:

$$F_{нетто} = \frac{(T_1)3}{[n_-]} \quad (17)$$

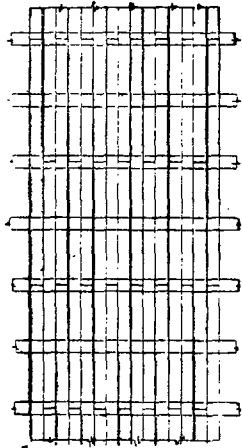
Как и выше, в зависимости от перекрытия стыка:

$$F_{б. участ} = 2F_{нетто}$$

или

$$F_{срутто} = \frac{3}{2} F_{нетто}$$

Ввиду небольших нормальных усилий на участке  $3$  перекрытие стыков осуществляется введением в работу  $\frac{2}{3}$  или  $\frac{1}{2}$  всех досок или брусков настила. При этом учитывается передача усилия с доски или бруска, прерывающихся в данном месте, соседним доске или бруску через арочки (фиг. 16).



Фиг. 16. Расположение стыков в продольном настиле в третьей зоне

Практически ослабление гвоздями сжатого и растянутого продольных настилов при пользовании указанными выше формулами не учитывается, так как расчет ведется по объемлющей эпюре.

б) Косые настилы и арочки

Площадь сечения косых настилов определяется по максимальному сдвигающему усилию  $S_{\max}$  на опоре. Усилие  $S$ , отнесенное к 1 м ширины косого настила, определится по формуле:

$$D = Z = S \text{ кг/м.} \quad (18)$$

Необходимое сечение сжатого косого настила:

$$F_- = \frac{D}{[n_-]} \quad (19)$$

Необходимое сечение растянутого настила:

$$F_{-нетто} = \frac{Z}{[n_+]} \quad (20)$$

где  $D$  — усилие в сжатом настиле;

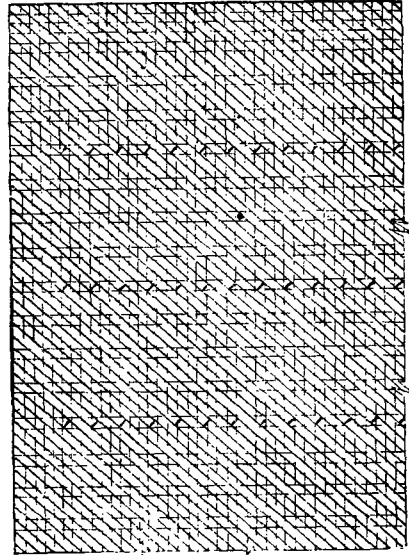
$Z$  — усилие в растянутом настиле.

В зависимости от перекрытия растянутого стыка соседними досками (на  $\frac{1}{2}$  или  $\frac{1}{3}$  длины доски):

$$F_{срутто} = \frac{3}{2} F_{нетто} \text{ или } 2F_{нетто}.$$

Стыки в косом настиле могут иметь расположение:

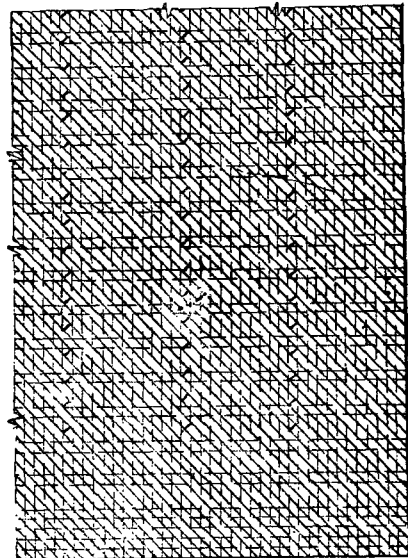
- а) по арочкам (фиг. 17);
- б) по продольному настилу (фиг. 18);
- в) смешанное (фиг. 19).



Фиг. 17. Расположение стыков в косом настиле по поперечному сечению оболочки

Напряжения в арочках проверяются по формуле:

$$n_- = - \left[ \frac{G_2 [n_-]}{W_{нетто} [n_+]} + \frac{T_2}{F_{срутто}} \right] = [n_-], \quad (21)$$



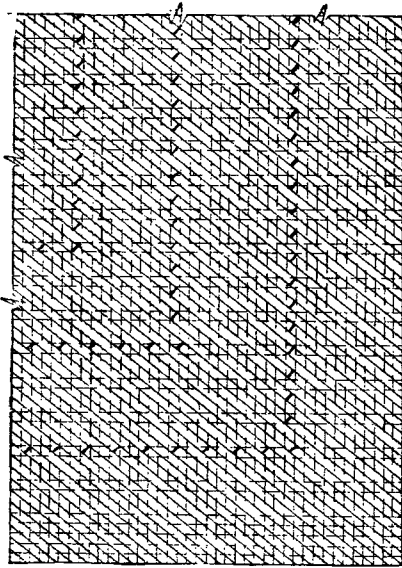
Фиг. 18. Расположение стыков в косом настиле вдоль оболочки

где  $G_2$  и  $T_2$  — наибольший изгибающий момент и соответствующая ему нормальная сила, отнесенные к одной арочке;

$W_{нетто}$  и  $F_{срутто}$  — моменты сопротивления и площадь поперечного сечения одной арочки в расчетном сечении.

в) Гвоздевой забой

При определении гвоздевого забоя весь свод-оболочка делится на ряд зон (фиг. 20). Зоны 1 и 2 соответствуют бортовому элементу. Расчет гвоздевого забоя в зоне 1 производится из условий:



Фиг. 19. Смешанное расположение стыков

- 1) перекрытия растянутых стыков бортового элемента;
  - 2) прикрепления косога настила к доскам бортового элемента.
- Растягивающее усилие на участке 1 в одной доске:

$$(N_{\cdot})_g = (T_1)_1 b. \tag{22}$$

На длине 1 м стыка:

$$\frac{(N_{\cdot})_g}{l_{cm}} = \frac{(T_1)_1 \cdot b}{l_{cm}}, \tag{23}$$

где  $l_{cm}$  — длина стыка;  
 $b$  — ширина одной доски;  
 $(T_1)_1 b$  — усилие, приходящееся на одну не перерезаемую в стыке доску.  
 Допускаемое усилие на один срез гвоздя определяется по наименьшему из значений:

$$T_{1a} = 304 d_{гв}^2; \tag{24}$$

$$T_{1c} = k_c c d_{гв} [n_c]; \tag{25}$$

$$T_{1e} = k_a a d_{гв} [n_c], \tag{26}$$

где  $d_{гв}$  — диаметр гвоздя;  
 $a$  — толщина крайней доски;  
 $c$  — толщина крайней доски;  
 $[n_c]$  — допускаемое напряжение на смятие нагельного гвоздя.

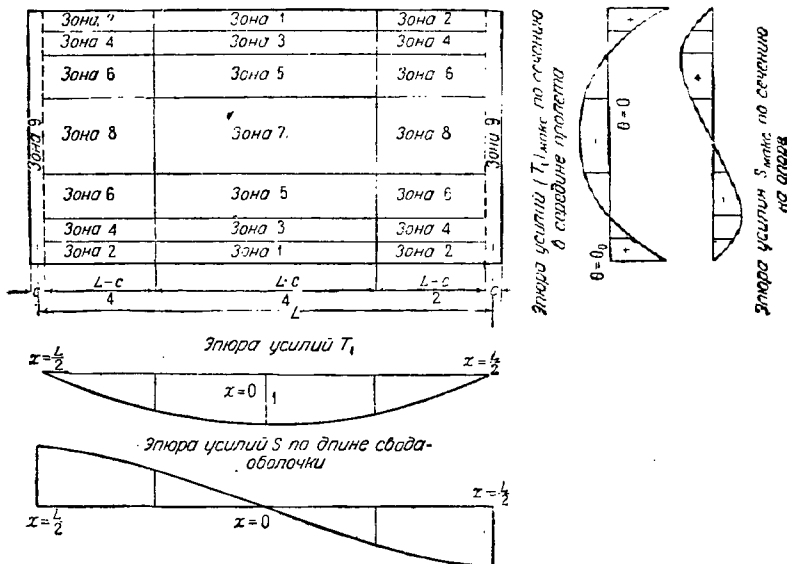
Ф-ла (24) соответствует работе гвоздя на нагиб, а ф-лы (25) и (26) — работе на смятие нагельного гвоздя в средней или крайней доске.

Гвозди в зонах 1 и 2 работают в условиях несимметричного сопряжения.

Рассматривая распределение действующих усилий на длине стыка, замечаем, что:

- 1) крайняя доска является крайним элементом несимметричного сопряжения; следовательно при расчете гвоздя должно быть принято  $k_c = 0,6$ ;
- 2) гвоздь в средней доске работает по схеме 1 или 2 в зависимости от того, какую сторону стыка рассматривать — правую или левую (фиг. 21).

Если принять, что сдвигающее усилие  $S$  распределено на длине стыка равномерно, то срезы гвоздя будут нагружены в левой половине стыка силами  $\frac{T_1}{m} b$  и  $\frac{dT_1}{2m} b$ , направленными в одну сторону, а в правой половине стыка — силами  $\frac{T_1 - dT_1}{m}$  и  $\frac{dT_1}{2m} b$ , направленными в разные стороны.



Фиг. 20. Зоны гвоздевого забоя



Здесь:  $m$  — число гвоздей на  $1/2$  длины стыка;  $\Delta T_1 b$  — приращение нормального усилия  $T_1$  на длине стыка, равное сумме сдвигающих усилий  $\Sigma S b$  на этой длине.

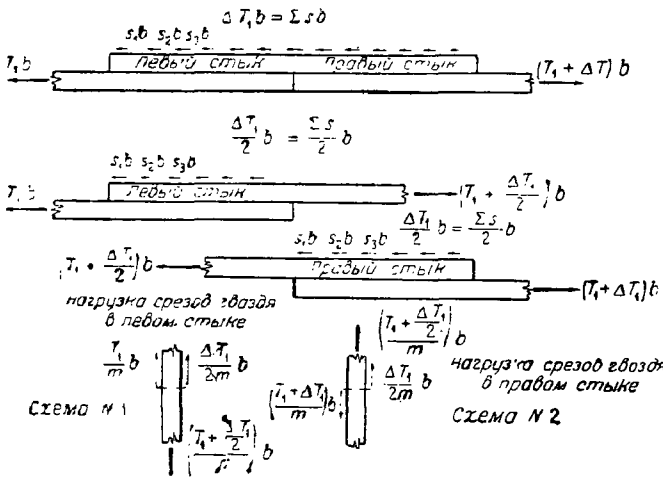
Более опасной является схема 2. Принимая, что отношение коэффициентов  $k_a = 0,6$  и  $k_c = 0,4$  при несимметричном сопряжении прямо пропорционально усилиям, приложенным к срезам гвоздя, имеем для рассматриваемого случая:

$$k = \frac{0,6}{1 + 0,5 \frac{\Delta T_1}{2 T_1}} \quad (27)$$

и

$$T_{20} = k c d_{20} [n_c], \quad (28)$$

где  $\frac{\Delta T_1 b}{2}$  — приращение нормального усилия на полудлине рассматриваемого стыка, а  $T_1 b$  — полное растягивающее усилие в доске, перекрывающей стык ( $b$  сокращается).



Фиг. 21

Необходимое количество гвоздей на 1 м одной доски зоны I определится по формуле:

$$m_1 = \frac{(T_1 + \frac{\Delta T_1}{2}) \cdot b}{l_{cm} T_{20}}, \quad (29)$$

причем значения  $T_1 + \frac{\Delta T_1}{2}$  и  $T_{20}$  должны быть выбраны такими, чтобы они давали наибольшее количество гвоздей на длине стыка. Для этой цели можно пользоваться табл. 1, из которой можно найти максимум  $m_1$ .

Для упрощения расчета при определении количества гвоздей на отдельном участке часто пренебрегают влиянием величины  $\frac{0,5 \Delta T_1}{2 T_1}$  ввиду

ее небольшого значения на длине участка и определяют допускаемое усилие на гвоздь по формуле:

$$T_{20} = 0,6 c d [n_c].$$

Необходимое количество гвоздей для прикрепления косоугольного настила к 1 м продольного (фиг. 22) определяется по формуле:

$$(m_1)_k = \frac{(\Delta T_1) b}{V \Sigma T_{20}}, \quad (30)$$

где  $T_{20}$  определяется по наименьшему из значений: для стыка по фиг. 14а и 15а:

$$T_{20} = 304 d_{20}^2; \quad (31)$$

$$T_{20} = 0,6 a d_{20} [n_c]; \quad (32)$$

$$T_{20} = 0,4 c d_{20} [n_c], \quad (33)$$

а для стыка по фиг. 14 и 15:

$$T_{20} = 304 d_{20}^2; \quad (34)$$

$$T_{20} = 0,5 c d_{20} [n_c], \quad (35)$$

причем в последнем случае гвозди следует считать двухрезвными.

Ввиду того что обычно один и тот же гвоздь работает на перекрытие растянутого стыка и прикрепление косоугольного настила к продольному, количество гвоздей, необходимое в зоне I, определяется по наибольшему значению  $m_1$  и  $(m_1)_k$ . Аналогично определяется необходимое количество гвоздей в зоне 3.

Зона 3 соответствует растянутой зоне выше бортового элемента; в ней обычно назначают гвоздевой забой двух типов: тип I — для прикрепления продольного настила к арочкам в связи с необходимостью перекрытия в нем растянутых стыков (гвозди забиваются с продольного настила непосредственно в арочки) и тип II — для прикрепления косоугольного настила к продольному.

Растягивающее усилие в зоне 3 в одной доске продольного настила:

$$(N_{\pm})_g = (T_1)_3 b n, \quad (36)$$

где  $n$  соответствует способу перекрытия стыков.

При перекрытии стыков на  $1/2$  длины доски  $n = 2$ , на  $1/3$  длины доски —  $n = 3/2$  и т. д.

На длине 1 м стыка:

$$\frac{(N_{\pm})_g}{l_{cm}} = \frac{(T_1)_3 b n}{l_{cm}}. \quad (37)$$

Усилие для расчета прикрепления доски продольного настила в арочке:

$$\frac{(N_{\pm})_g l}{l_{cm}} = \frac{(T_1)_3 b n l}{l_{cm}}, \quad (38)$$

где  $l$  — расстояние между арочками.

Таблица 1

Расчет числа гвоздей

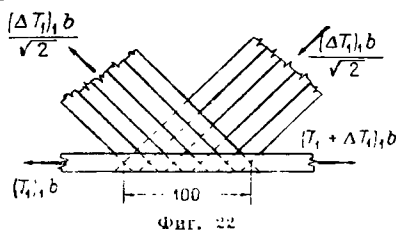
|         |                             |  |   |   |
|---------|-----------------------------|--|---|---|
| № стыка | Нормальное усилие $(T_1) b$ | Приращение нормального усилия $\frac{\Delta T_1 b}{2}$ на половине длины стыка | $T_{20} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \frac{\Delta T_1}{2 T_1}} c d [n_c]$ | Необходимое количество гвоздей на 1 м одной доски зоны I:<br>$m_1 = \frac{T_1 + \frac{\Delta T_1}{2}}{l_{cm} T_{20}}$ |
|---------|-----------------------------|--|---|---|

Количество гвоздей, необходимое для прикрепления одной доски продольного настила к одной арочке, определяется по формуле:

$$m_3 = \frac{(T_1)_3 bn}{l_m T_{ic}}, \quad (39)$$

где за  $T_{ic}$  принимают наименьшее из значений, определяемых по ф-лам (31) и (32).

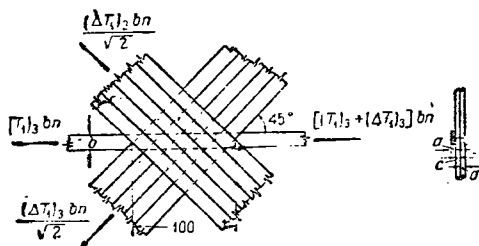
Гвоздевой забой для прикрепления косого настила к продольному определяется по наибольшему количеству гвоздей, необходимых из условий:



Фиг. 22

- 1) прикрепления продольного настила к косому и
- 2) перекрытия стыков в растянутом косом настиле.

По условию 1 количество необходимых гвоздей определяется из следующих соображений. Приращение нормального усилия, действующего в одной доске продольного настила на 1 м длины, составляет  $(\Delta T_1)_3 bn$ ; при этом в косом настиле возникнут усилия  $\frac{(\Delta T_1)_3 nb}{\sqrt{2}}$  (Фиг. 23).



Фиг. 23

$T_{ic}$  определяется по ф-лам (31), (32) и (33), причем  $s$  соответствует толщине нижнего косого настила (средний элемент),  $a$  — толщине верхнего косого или продольного настила (крайний элемент).

Количество необходимых гвоздей на 1 м продольного настила определится по наибольшему из значений:

$$(m_3)_k = \frac{(\Delta T_1)_3 bn}{T_{ic}}; \quad (40)$$

$$(m_3)'_k = \frac{(\Delta T_1)_3 bn}{\sqrt{2} T_{ic}}. \quad (41)$$

По условию 2 максимальное растягивающее усилие, действующее в косом настиле в зоне 3 (отнесенное к 1 м продольного настила), равно  $\frac{S_3}{\sqrt{2}}$ .

Стыки в косом настиле учитываются введением в работу  $\frac{1}{n}$  всех досок. Таким образом усилие, действующее в рабочих досках косого настила, определится по формуле:

$$\frac{S_3 n}{\sqrt{2}}. \quad (42)$$

Количество продольных досок, приходящихся на длину стыка косого настила:

$$m_4 = \frac{l_{cn}}{\sqrt{2} l}, \quad (43)$$

где  $b$  — ширина продольного настила.

Усилие, приходящееся на 1 м одной доски продольного настила:

$$(S_3)_1 = \frac{S_3 nb}{l_m}. \quad (44)$$

Количество гвоздей, которое необходимо забить на 1 м продольного настила:

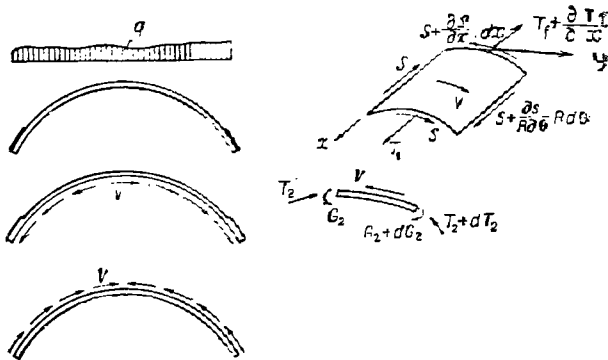
$$m_5 = \frac{S_3}{T_{ic}},$$

причем за  $T_{ic}$  следует принимать меньшее из его значений по ф-лам (31) и (32), где  $a$  — толщина растянутого косого настила.

В зоне 4 количество гвоздей определяется аналогично. Зоны 5, 6, 7 и 8 — сжатые зоны; количества гвоздей для прикрепления косого настила к продольному и для перекрытия стыков в растянутом косом настиле определяются так же, как и для зоны 3.

- г) Прикрепление оболочки к арочкам

Прикрепление свода-оболочки к арочкам должно быть рассчитано по усилию, определяемому на основании следующих соображений (Фиг. 24).



Фиг. 24

Если принять, как было указано выше, что нормальные усилия  $T_2$  и изгибающие моменты  $G_2$  воспринимаются арочками, нормальные усилия  $T_1$  — продольным настилом, а сдвигающие усилия  $S$  — косым настилом, то между арочками и свода-оболочкой возникают усилия  $V$ . Эти усилия направлены по касательной к верхнему поясу арочки, причем изгибающие моменты и поперечные силы от внешней нагрузки, возникающие в поперечном направлении, должны уравновеситься моментами и поперечными силами от сил  $V$ .

Полагая, что арочки создают жесткость, непрерывную в продольном направлении, вырезаем элемент свода-оболочки, прикладываем к нему продольную нормальную силу  $[T_1]$ , касательное усилие  $S$  и усилие  $V$ , выражающее воздействие арочки на рассматриваемый элемент. Проектируя все силы на ось  $Y$ , имеем:

$$\sum Y = SR d\theta - \left( S - \frac{\partial S}{\partial x} dx \right) R d\theta + V dx R d\theta = 0, \quad (45)$$

откуда:

$$V - \frac{\partial S}{\partial x} = 0;$$

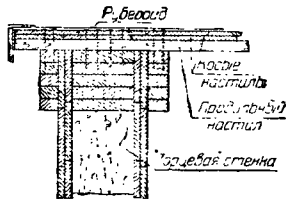
здесь  $S$  — касательное усилие, отнесенное к ширине 1 м;

$V$  — воздействие арок на свод-оболочку, отнесенное к 1 м<sup>2</sup>.

Если принять расстояние между арочками равным  $l$ , то усилие, возникающее между арочками и сводом-оболочкой, будет:

$$V' = \int_x^{x+l} V dx = \int_x^{x+l} dS. \quad (46)$$

Итак, усилия, возникающие между сводом-оболочкой и арочками, равны по величине накоплению сдвигающих усилий между арочками.

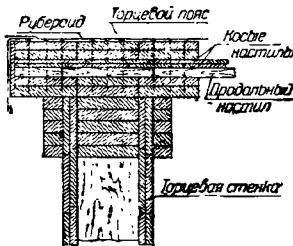


Фиг. 25. Непосредственное примыкание оболочки к торцевой стенке

Необходимое количество гвоздей для прикрепления арок к оболочке определится по формуле:

$$m_a = \frac{V'}{T_{1a}}, \quad (47)$$

где  $V'$  соответствует накоплению сдвигающих усилий между арочками.



Фиг. 26. Примыкание оболочки к торцевому растянутому или сжато-растянутому поясу

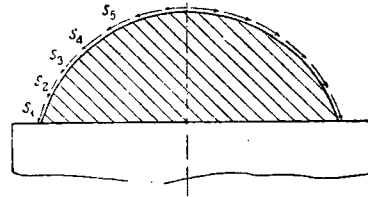
За  $T_{1a}$  следует принимать меньшее из его значений по ф-лам (31) и (32).

Скрепление отдельных досок арок между собой рассчитывается по сдвигающим усилиям, возникающим между досками от действия моментов  $G_2$ ; необходимое количество гвоздей определяется обычным способом.

д) Прикрепление оболочки к торцевой стене

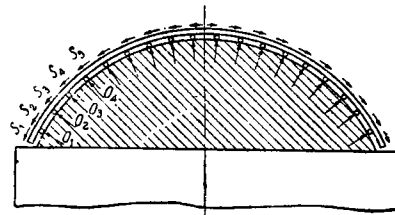
Прикрепление оболочки к торцевой стене может быть осуществлено тремя способами:

- 1) непосредственным прикреплением оболочки к торцевой стене (фиг. 25 и 27);
- 2) устройством растянутого пояса на торцевой стене (фиг. 26 и 28)<sup>1</sup>;
- 3) устройством сжато-растянутого пояса (фиг. 26 и 32).



Фиг. 27. Расчетная схема к фиг. 25

Прикрепление оболочки к торцевой стене рассчитывается по усилию  $S$ , передающемуся с косых настилов торцевой стене, или по усилию  $\frac{S}{\sqrt{2}}$  в досках косого настила на опоре. Необходимое ко-



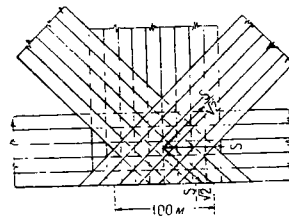
Фиг. 28. Расчетная схема растянутого пояса

личество гвоздей на 1 м для прикрепления свода-оболочки к торцевой стене по длине определяется по ф-лам (фиг. 29):

$$m_a = \frac{S}{T_{1a}} \quad (48)$$

или

$$(m_g)_k = \frac{S}{\sqrt{2} T_{1a}}, \quad (49)$$



Фиг. 29

где  $T_{1a}$  определяется по формулам для несимметричного сопряжения;

$m_a$  — количество гвоздей, необходимое из условия прикрепления верхнего пояса торцевой стены к оболочке;

$(m_g)_k$  — количество гвоздей, необходимое из условия прикрепления досок косого настила к торцевой стене.

Растянутый пояс конструируется так, что косые настилы прикрепляются к пакету досок, свободно уложенному по торцевой стене, причём

<sup>1</sup> Устройство растянутого пояса на торцевой стене свода-оболочки было впервые предложено в СДК ЦНИПО инж. Ленишным А. В.

навет досок не опирается в янте. Если пренебречь силами трения, возникающими между растянутым поясом и торцевой стеной, то усилие в растянутом поясе определится по формуле:

$$N_{+} = \sum_0^s S; \quad (N_{+})_{\max} = \sum_0^{s_0} S, \quad (50)$$

где  $\sum_0^s S$  — сумма сдвигающих усилий на опоре ниже рассматриваемого сечения;

$s_0$  — половина длины дуги (фиг. 30).

Площадь поперечного сечения растянутого пояса определяется по формуле:

$$F_{\text{норм}} = \frac{N_{+}}{[\sigma_{+}]}; \quad F_{\text{фуртис}} = F_{\text{норм}} \cdot n. \quad (51)$$

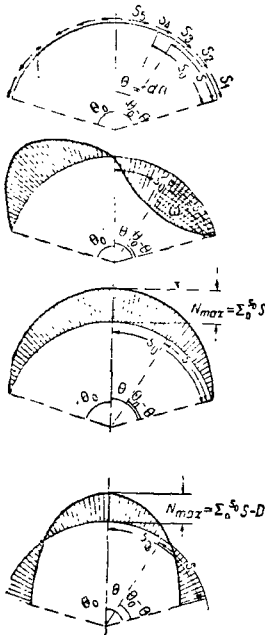
Количество гвоздей на 1 м, необходимое для сбивки растянутого пояса, определяется по формуле (52):

$$m_p = \frac{(N_{+})_1}{t_m T_{28}}, \quad (52)$$

где  $(N_{+})_1$  — усилие в одной доске.

Прикрепление косого настила к растянутому поясу рассчитывается аналогично прикреплению косого настила к продольному в зонах 1 и 2.

Ввиду возможности разгибания растянутого пояса и отставания



Закон изменения сдвигающего усилия  $S$ , передающегося на торцевой пояс

Усилия в растянутом поясе:

$$N = \sum_0^s S$$

Усилия в сжато-растянутом поясе:

$$N = \sum_0^s S - D$$

Фиг. 30. Эпюры усилий, передающихся на торцевой пояс, и усилий в растянутом и сжато-растянутом поясе

от торцевой стены его следует прикреплять к последней в нескольких местах болтами.

Усилие, передающееся на торцевую стену от растянутого пояса, может быть получено из рассмотрения элемента  $ds$  растянутого пояса (фиг. 31), к которому с одной стороны приложена сила  $N$ , а с другой —  $N + dN$ .

Если пренебречь силами трения между растянутым поясом и торцевой стеной, то реакция  $O$  торцевой стены направлена радиально.

Проектируя все силы на направление  $O$ , имеем:

$$2N \sin \frac{d\theta}{2} - dN \sin \frac{d\theta}{2} + OR \cos \theta = 0, \quad (53)$$

откуда, пренебрегая членом  $dN \sin \frac{d\theta}{2}$  как бесконечно-малой второго порядка и приравнявая  $\sin \frac{d\theta}{2}$  углу  $\frac{d\theta}{2}$ , находим:

$$O = \frac{N}{R}, \quad (54)$$

где  $N$  — усилие в поясе, а  $R$  — радиус свода оболочки.

Растянутый пояс вследствие больших возникающих в нем растягивающих усилий часто получается значительного поперечного сечения. Поэтому его следует делать только в тех случаях, когда это вызывается серьезными конструктивными соображениями. Для уменьшения поперечного сечения следует переходить к сжато-растянутому поясу.

При устройстве сжато-растянутого пояса оболочка прикрепляется также к пакету досок, уложенному на торцевую стену, причем в этом случае пакет досок опирается в янте. Опорная реакция  $O$  в сжато-растянутом поясе может быть определена из условия равенства нулю суммарной деформации от сжатия и растяжения пояса.

Деформация элементарной дуги  $ds = R d\theta$ :

$$\frac{\sum S - D}{EF} ds. \quad (55)$$

Полная деформация дуги:

$$\int_0^s \frac{\sum S - D}{EF} ds = 0. \quad (56)$$

Принимая площадь пояса в любом сечении за постоянную величину, получаем:

$$\int_0^s \sum S ds - \int_0^s D ds = 0$$

или

$$\int_0^s \sum S ds - Ds = 0,$$

но последний интеграл представляет собой площадь  $\omega$  эпюры сдвигающих усилий  $S$  на участке  $s$ , следовательно:

$$D = \frac{\omega}{s}. \quad (57)$$

Производя расчет на половине дуги свода оболочки, имеем:

$$D = \frac{\omega_0}{s_0},$$

где  $\omega_0$  — площадь эпюры на половине дуги  $s_0$ .



Свод-оболочка получается наиболее экономичным и простым в конструктивном отношении при следующих соотношениях основных габаритных размеров (фиг. 36):

$$1) \frac{L}{B} \leq 5 - 6;$$

$$2) \frac{f}{L} > \frac{1}{8} - \frac{1}{10},$$

где  $L$  — длина,  $B$  — ширина и  $f$  — высота свода-оболочки.

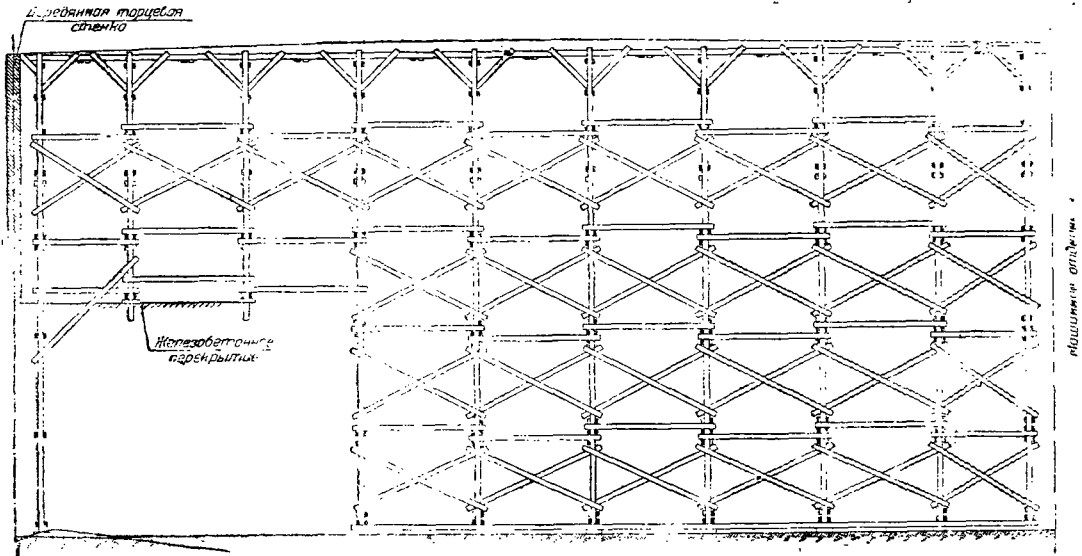
Так же как и тонкостенные, ребристые свода-оболочки могут проектироваться как по однорядовой, так и многорядовой схеме.

Конструкция ребристого свода-оболочки зависит:

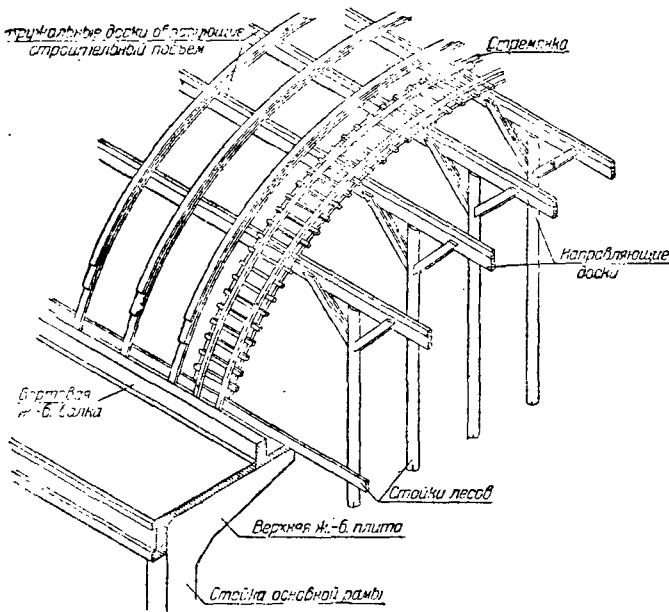
- 1) от выбранного типа теплых или холодных кровли; в первом случае конструкция в свою очередь зависит от того, служит ли теплоизоляция самими настилами или применяются утеплители — фибролит, эбонит и т. п.;
- 2) от наличия или отсутствия фонаря.

При теплой кровле без специального утеплителя основными элементами конструкции ребристого свода-оболочки являются (фиг. 37): 1) ребра жесткости, 2) круглые арки, 3) и т. д. свод-оболочки.

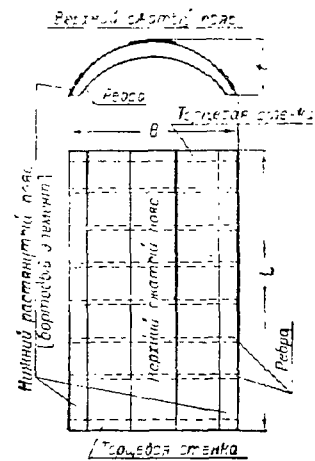
Ребра жесткости представляют собой криволинейные брусья составного сечения с дощатой сплошной или разреженной стенкой, располагаемые, как правило, снизу свода-оболочки в поперечном направлении на раз-



Фиг. 34. Продольный разрез к фиг. 33



Фиг. 35. Стрелки для сборки арок



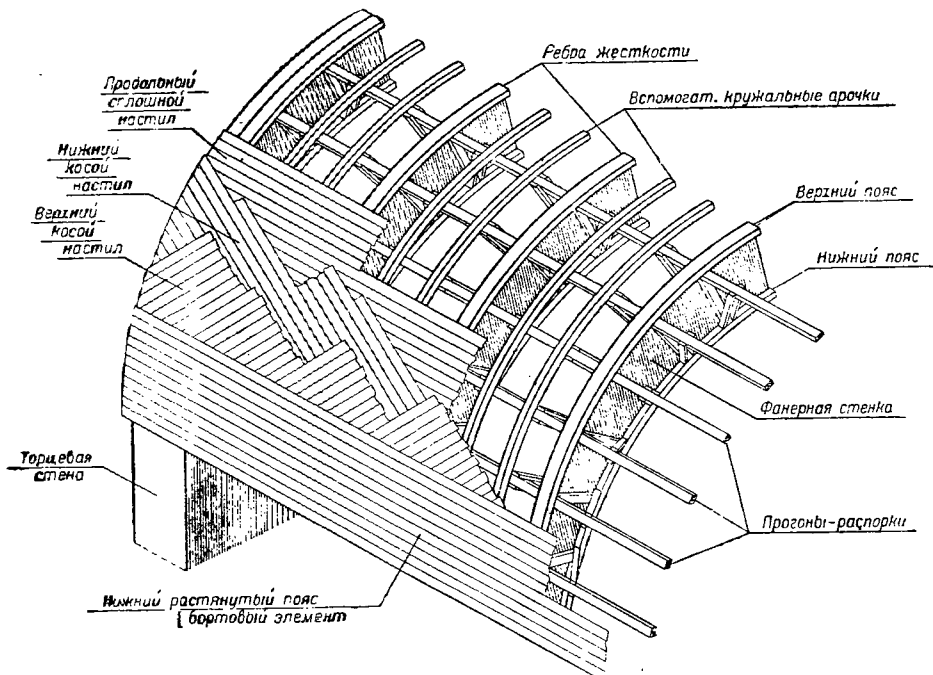
Фиг. 36. Основные элементы ребристого свода-оболочки

стоянии 3 — 6 м одно от другого (фиг. 38 и 44).

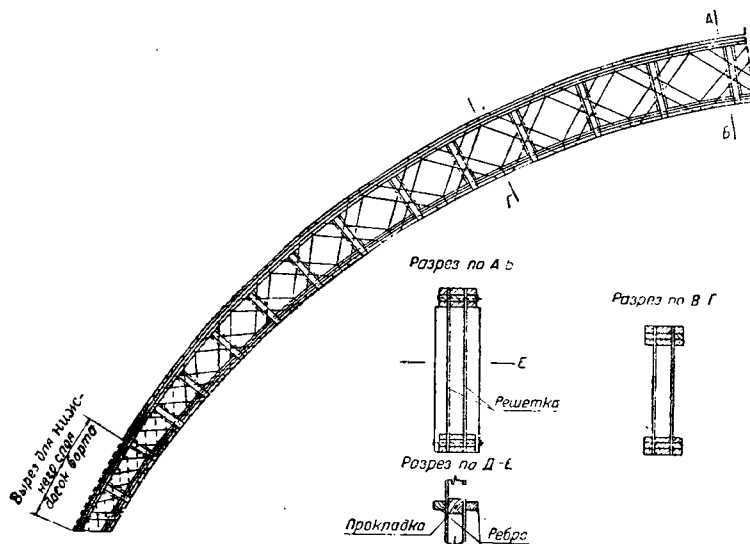
Ребра имеют двойное назначение: 1) участвуя в основной работе свода-оболочки, они воспринимают изгибающие моменты в поперечном направлении и обеспечивают жесткость и устойчи-

вость серповидного очертания, так как эта форма наиболее соответствует эпюре действующих в ребре изгибающих моментов.

Поперечное сечение может быть коробчатым (фиг. 44) или двутавровым (фиг. 38 и 39). Последнее предпочтительнее, так как гвозди, служащие



Фиг. 37. Конструкция ребристого свода-оболочки



Фиг. 38. Ребро с лощатой разреженной стеной

чивость, 2) при производстве работ они работают как балки или двухшарнирные арки (в зависимости от характера опирания), воспринимают нагрузку от прогонов и настилов и позволяют обходиться без дорого стоящих лесов по всей площади свода-оболочки. Обычно ребра делаются

для прикрепления поясов двутаврового ребра к стенке, работают на два среза.

Верхний и нижний гнутые пояса ребра выполняются из досок или брусков. Возможно осуществление ребер и с фанерной стенкой в тех случаях, когда совершенно исключена опасность

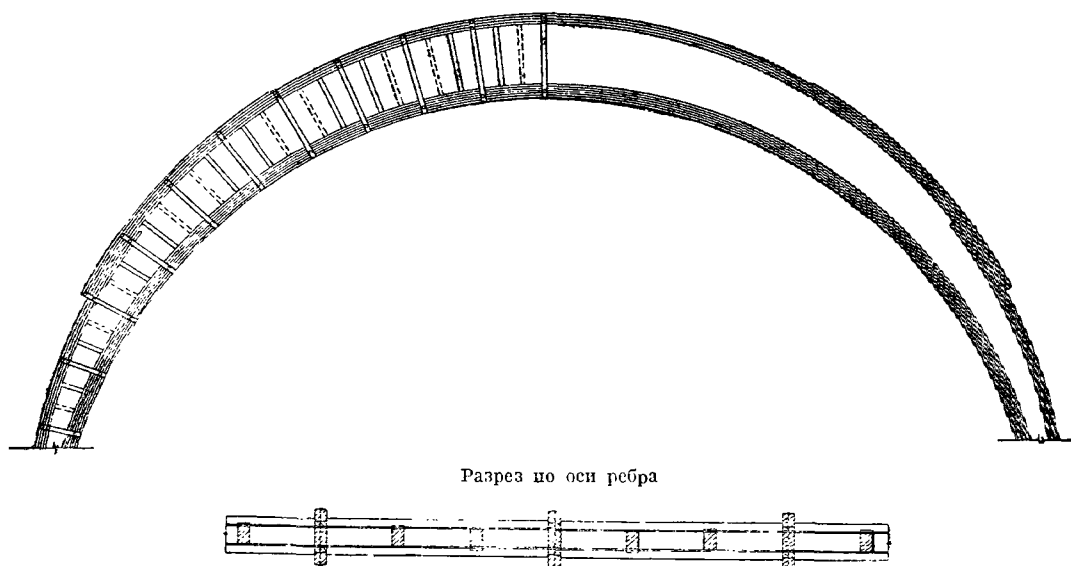
увлажнения фанеры как в процессе возведения свода-оболочки, так и в условиях эксплуатации (фиг. 39).

Для того чтобы получить плотное примыкание свода-оболочки к ребру, в верхнем поясе ребра делают вырезы для выступающих внутрь свода досок верхнего сжатого и нижнего растянутого поясов (фиг. 38 и 39). В ребре устраиваются стойки жесткости на расстоянии одна от другой, примерно равном высоте ребра. В пяте ребра,

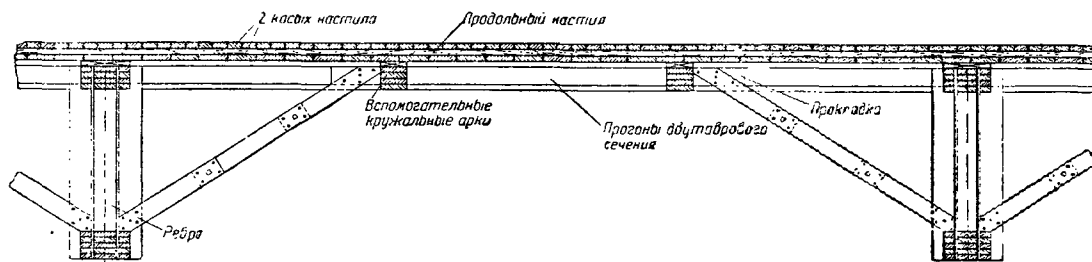
косых (под углом  $45^\circ$  к продольному и  $90^\circ$  — между собой) и укладывается по каркасу, образованному ребрами жесткости, прогонами и вспомогательными кружальными арочками (фиг. 40, 41 и 42).

Толщину продольного и косых настилов назначают из конструктивных, а иногда и тепло-технических соображений.

Для восприятия значительных растягивающих усилий по нижнему краю свода-оболочки и сжи-



Фиг. 39. Ребро с фанерной стеной



Фиг. 39а. Закрепление нижнего пояса ребра свода-оболочки

где пояса ребра почти сходятся, ставится вкладыш, прикрепляемый к поясам гвоздями.

Ввиду того что нижний пояс ребра жесткости в основной работе свода-оболочки сжат, для предупреждения продольного изгиба его устанавливают подкосы, прикрепляемые к нижнему поясу ребра и к уложенным по ребрам жесткости прогонам (фиг. 39а).

Вспомогательные кружальные арочки укладываются по прогонам в промежутке между ребрами. Арочки, прогоны и подкосы: 1) образуют каркас для укладки настилов свода-оболочки при монтаже; 2) увеличивают жесткость свода-оболочки, а в сжатых зонах повышают сопротивление его продольному изгибу.

Собственно оболочка состоит обычно из трех настилов — одного продольного и двух

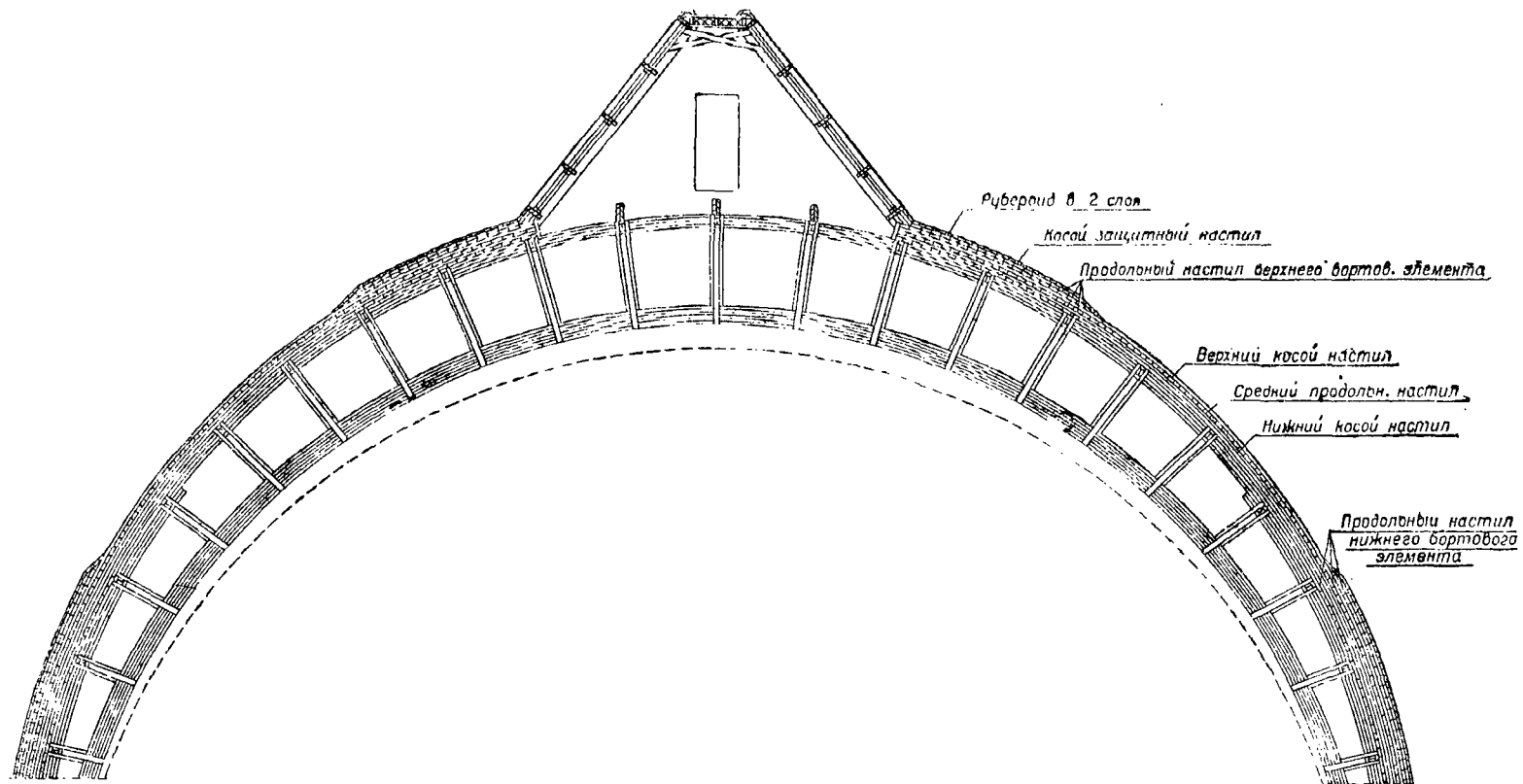
мающих в шельге по нижнему краю устраивается растянутый, а в шельге сжатый пояс в виде накетов продольных досок.

Продольный настил может быть расположен: 1) непосредственно по ребрам жесткости (фиг. 42а), 2) между двумя косыми настилами (фиг. 42б). Конструкция по фиг. 42б позволяет достаточно просто осуществить встречный гвоздевой забой в растянутом борту при полной его толщине более 20 см (предельная длина проволочного гвоздя, употребляемая в строительстве).

Сверху по настилам укладывается кровля того или иного типа. Конструкция кровли в основном аналогична таковой в тонкостенных сводах-оболочках.

В том случае, когда устраивают рубероидную кровлю непосредственно по верхнему косому





Фиг. 40. Поперечный разрез ребристого свода-оболочки

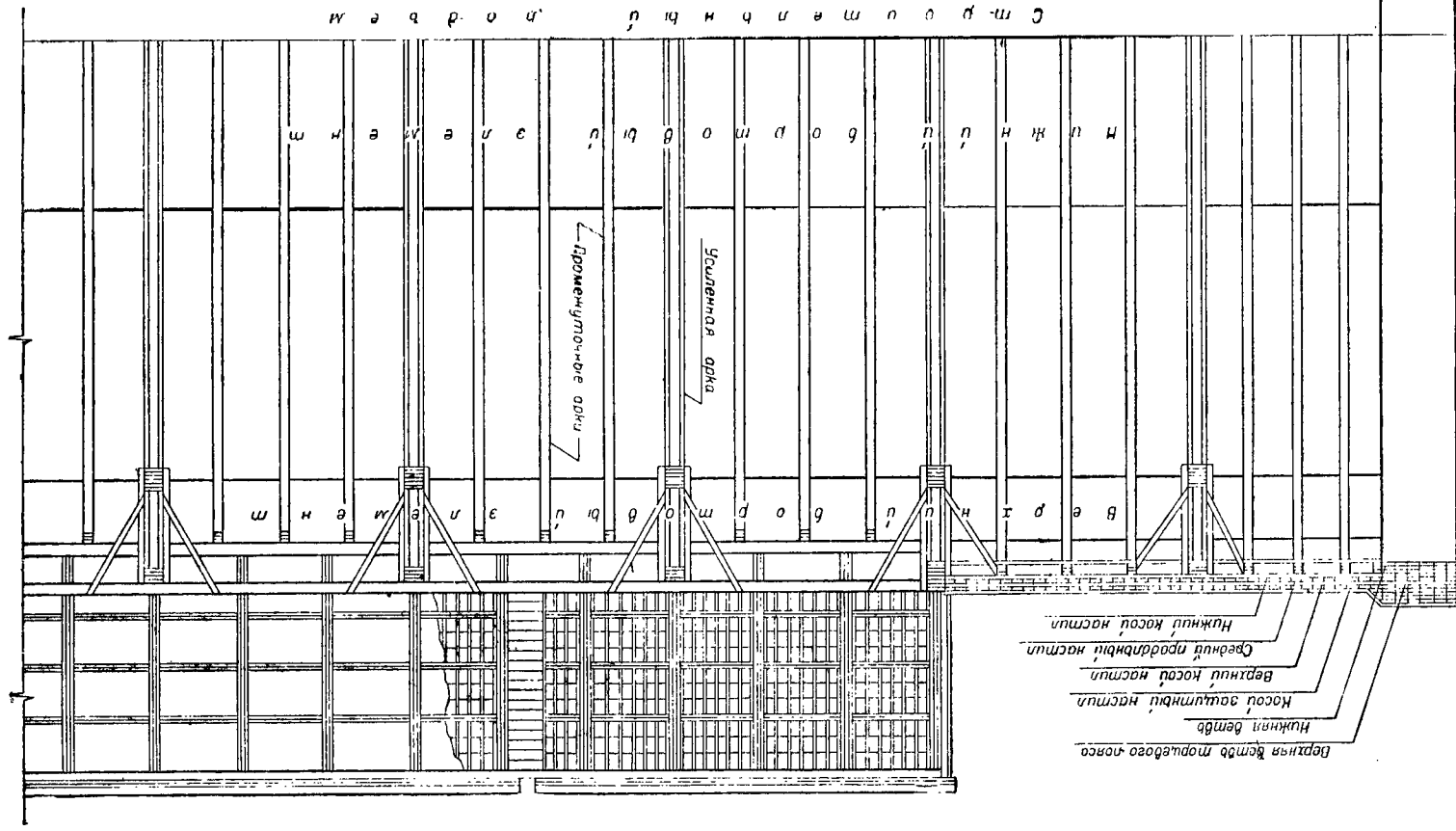


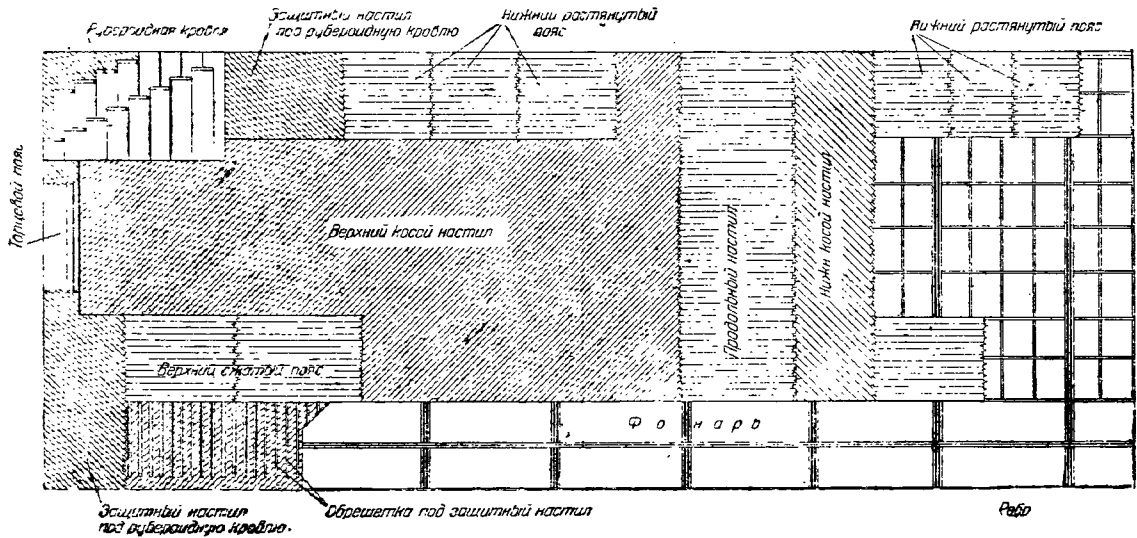
Рис. 41. Продольный разрез сводчатого сооружения

настилу, последний должен быть выполнен из досок шириной не более 10 см. Ввиду того что это требование усложняет гвоздевой забой, рубероидную кровлю часто укладывают на специальный «защитный» настил из брусочков  $12 \times 50$  мм, прижимаемых поверх настилов, образующих свод-оболочку. Защитный настил способствует также сохранности рабочих частей свода-оболочки. Иногда для той же цели вместо защитного настила

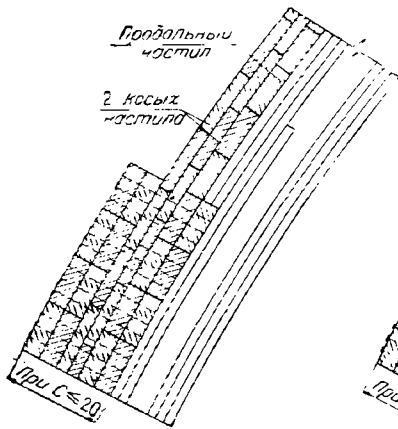
ней части ставится реже и используется в качестве верхней полки прогона.

Пустоты, образующиеся между фибролитом и настилами, сообщаются через осушающие продухи с наружным воздухом и обеспечивают проветривание всей конструкции.

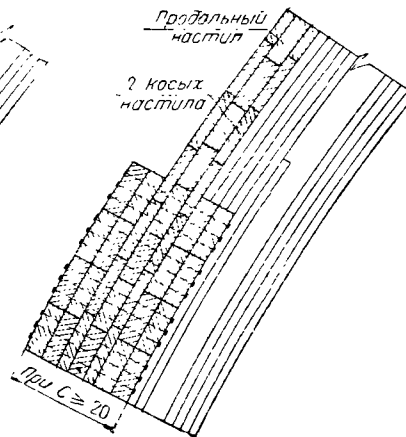
В случае, если из пожарных или других соображений нежелательно оставить связи в виде подкосов, может быть применен ребристый



Фиг. 42. Развертка ребристого свода-оболочки



Фиг. 42а



Фиг. 42б

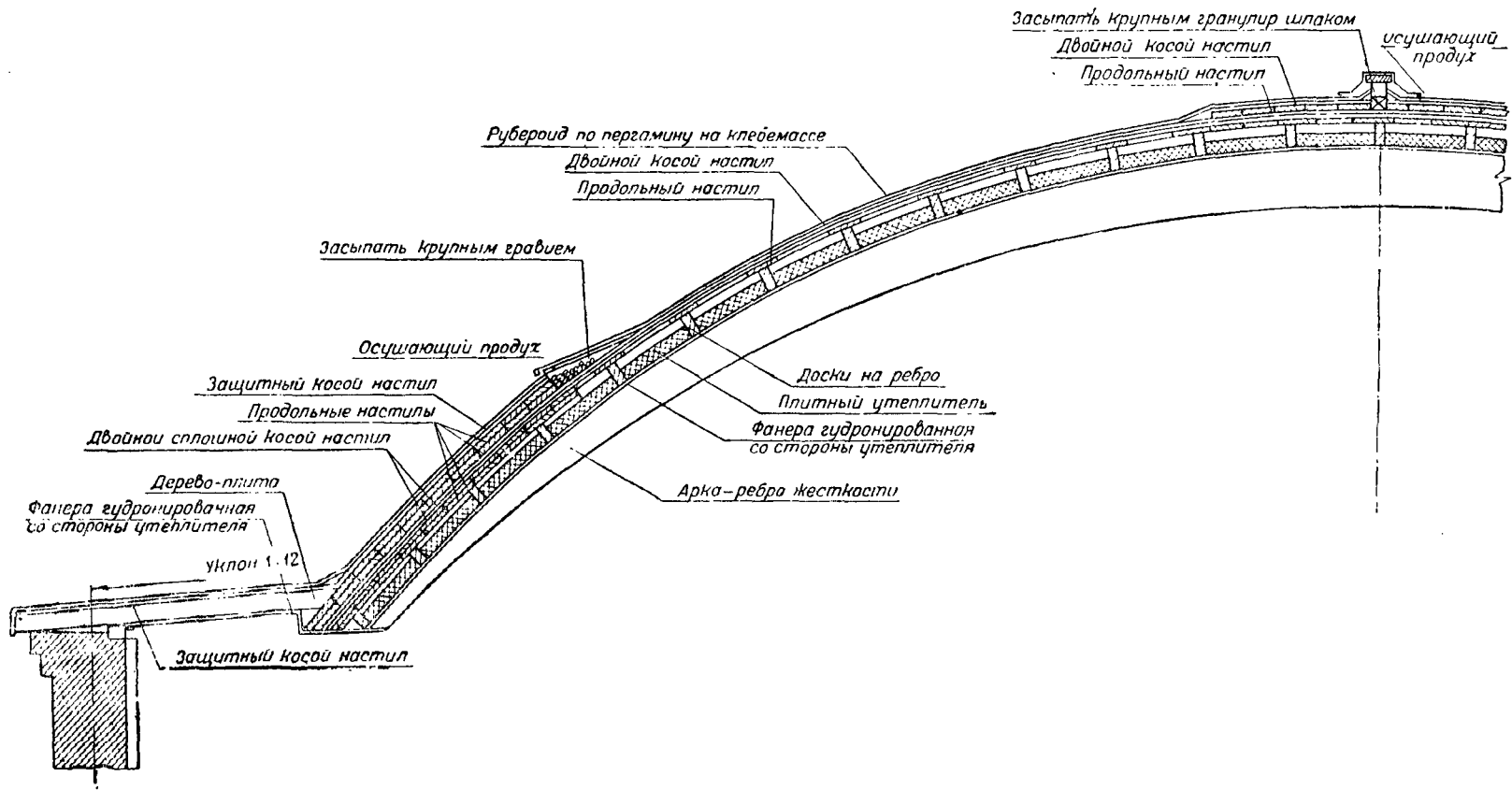
применяют гудронированную фанеру. Во всех случаях необходимо обеспечить осушающий режим кровли.

Снизу свод-оболочка подшивается например гудронированной (с внутренней стороны) фанерой, которая служит пароизоляцией. Гудронированную фанеру следует подшивать обязательно после полного просушивания свода-оболочки.

Конструкция ребристого свода-оболочки (фиг. 43) при теплой кровле отличается от приведенной конструкции только тем, что между прогонами укладывается утеплитель (фибролит, сфагнум и т. н.). В этом случае продольный настил в сред-

свод-оболочка с двойными ребрами (фиг. 44). Ребра располагаются на расстоянии, определяемом расчетом, и связываются между собой поперечными диафрагмами и внизу сплошной стенкой или решеткой. Такая конструкция значительно повышает устойчивость ребер на продольный изгиб и позволяет не ставить специальных связей в виде подкосов.

Если расположить парные ребра достаточно близко друг от друга, то в качестве продольных настилов и прогонов можно использовать доски, толщину и расстановку которых следует в этом случае выбирать по толщине и ширине утепли-

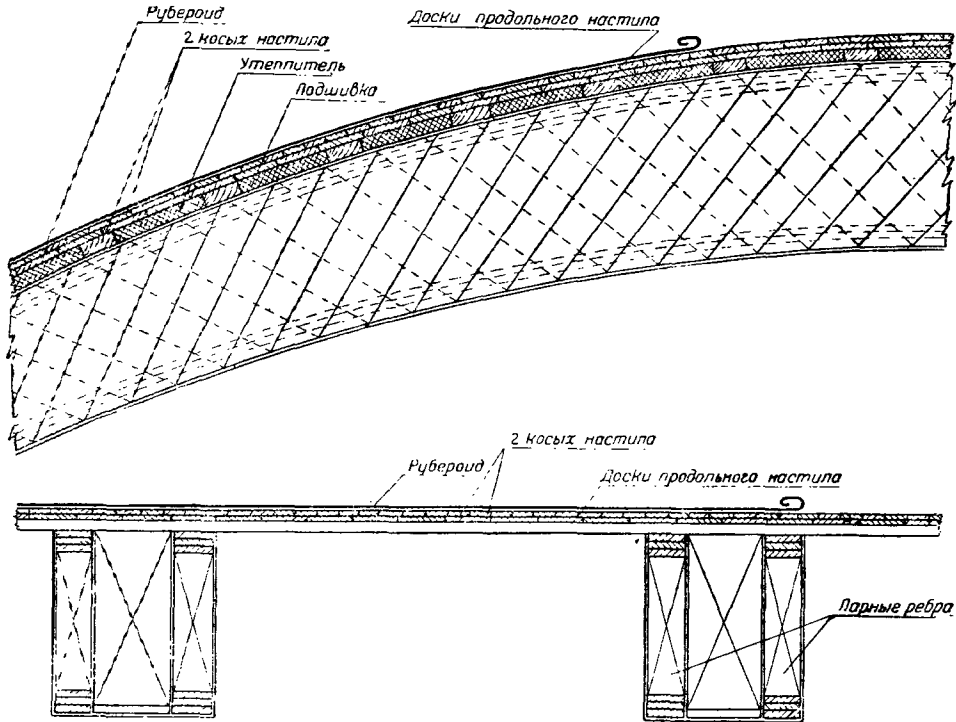


Фиг. 43. Конструкция ребристого свода-оболочки при наличии утеплителя

тели. Укладывая утеплитель между ребрами, получаем в этом случае беспустотную конструкцию свода-оболочки (фиг. 44) с гладким потолком.

При расстоянии между ребрами не более 3—4 м отпадает необходимость в устройстве промежуточных арочек, так как монтаж оболочки можно

Для предварительного подбора сечения свода-оболочки можно определять внутренние усилия, пренебрегая работой средней части продольных настилов и учитывая только верхний и нижний пояса, в предположении равномерного распределения напряжений по высоте поясов (фиг. 43). В этом случае:



Фиг. 44. Конструкция ребристого свода-оболочки при парных ребрах

произвести, используя для этой цели толстый продольный настил

## 2) Расчет

Как правило, ребристый свод-оболочку следует рассчитывать по методам теории упругости, позволяющим учесть влияние податливости ребер на распределение нормальных и касательных усилий в своде-оболочке. Наиболее употребительным и простым является метод, предложенный инж. Власовым В. З. (см. т. IV справочника Промстройпроекта, «Перекрытия типа оболочек»).

При бесконечно-большой жесткости ребер и симметрии внешних нагрузок относительно продольной оси свода-оболочка работает как балка на двух опорах (торцевых стенах).

Чем меньше жесткость ребер, тем сильнее работа свода-оболочки отличается от работы балки, напряжения же в элементах свода-оболочки приближаются к напряжениям в тонкостенной оболочке. При несимметричной (односторонней) нагрузке растягивающие напряжения в нижнем брутто-элементе больше, чем при симметричной.

При симметричной нагрузке ребристый свод-оболочка может быть рассчитан приближенно как балка<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См. «Приближенный метод расчета ребристых свод-оболочек на симметричную нагрузку».

$$\pm N_{\max} = \frac{M_{\max}}{e},$$

где  $N_{\max}$  — максимальное нормальное усилие, действующее в верхнем и нижнем поясах;

$e$  — плечо внутренней пары, равное расстоянию между центрами тяжести верхнего и нижнего элементов; размер  $e$  может быть принят равным  $0,8f - 0,9f$ .

Максимальное напряжение в верхнем и нижнем поясах определяется по формулам:

$$n_{+} = \frac{+ N_{\max}}{F_{\text{нетто}}};$$

$$n_{-} = \frac{- N_{\max}}{F_{\text{брутто}} \cdot \varphi}.$$

Здесь  $F_{\text{нетто}}$  — площадь нетто нижнего растянутого пояса;

$F_{\text{брутто}}$  — площадь брутто верхнего сжатого пояса;

$\varphi$  — коэффициент уменьшения допускаемого напряжения на сжатие при учете продольного изгиба.

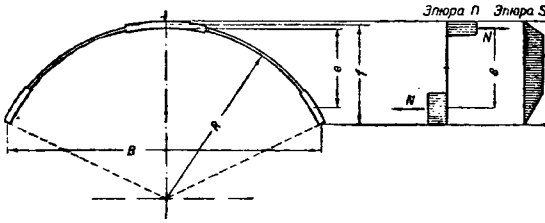
Необходимо отметить, что при таком предварительном расчете допускаемые напряжения необходимо понижать на 20—25%, так как действительные напряжения по поперечному сечению свода-оболочки изменяются по линейному закону и крайние напряжения выше вычисленных.

Касательные усилия  $S$  определяются приближенно по формуле:

$$S = \frac{Q}{e},$$

где  $Q$  — поперечная сила в данном сечении.

Распределение  $N$  и  $S$  по поперечному сечению свода-оболочки показано на фиг. 45.



Фиг. 45

Подбор сечений отдельных элементов ребристых сводов-оболочек, расположение стыков в них и расчет гвоздевого забоя производится по соответствующим правилам для тонкостенных сводов-оболочек. При этом принимается, что нормальные силы  $T_1$  воспринимаются продольным настилом, касательные усилия  $S$  — косыми настилами, нормальные же силы  $T_2$  и изгибающие моменты  $G_2$ , действующие в поперечном направлении, — ребрами.

Верхний пояс в ребристых сводах-оболочках следует проверять на продольный изгиб, принимая за свободную длину расстояние между ребрами или иными закреплениями. При расчете в запас прочности криволинейность сжатого пояса обычно не учитывается; гибкость его определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{l}{r},$$

где  $l$  — расстояние между ребрами;

$r$  — радиус инерции сечения сжатого пояса, определяемый по формуле:

$$r = \sqrt{\frac{I}{F}},$$

При определении момента инерции и площади поперечного сечения следует учитывать только площадь поперечного сечения продольных настилов.

В случае, если поперечное сечение сжатого пояса по расчету на продольный изгиб недостаточно, сжатый пояс может быть усилен прогонами (фиг. 39, 39а и 40), прикрепленными к сжатому поясу гвоздями.

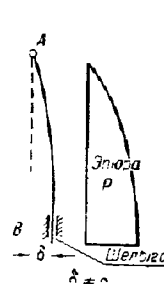
Расчет вспомогательных элементов (круглых арок и прогонов) производится только на монтажную нагрузку, причем путем прикрепления круглых арок к верхнему сжатому поясу можно в большей степени увеличить сопротивление последнего продольному изгибу.

Подбор сечений ребра производится аналогично подбору сечений плоских арок и балок составного сечения на гвоздях.

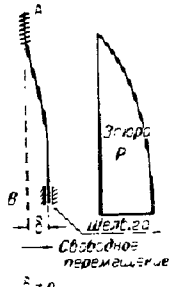
При симметричной нагрузке свода-оболочки нижний пояс ребра сжат. Расчет его на продольный изгиб из плоскости ребра при отсутствии всяких связей или при наличии связи только в шельге свода может быть произведен по нижеприведенным формулам<sup>1</sup>. Формулы выведены в предположении, что сжимающие силы изме-

няются по длине нижнего пояса ребра по параболическому закону и не учитывают сопротивления стенок ребра.

В случае шарнирного примыкания ребра к нижнему поясу:



Фиг. 46



Фиг. 47

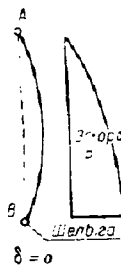
а) при отсутствии связи в шельге (фиг. 46):

$$P_{кр} = \frac{6,92EI}{s^2};$$

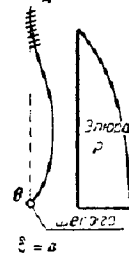
б) при наличии связи в шельге (фиг. 48):

$$P_{кр} = \frac{15,14EI}{s^2}.$$

В случае защемления ребра в месте примыкания к нижнему поясу:



Фиг. 48



Фиг. 49

а) при отсутствии связи в шельге (фиг. 47):

$$P_{кр} = \frac{5,14EI}{s^2};$$

б) при наличии связи в шельге (фиг. 49):

$$P_{кр} = \frac{30,94EI}{s^2}.$$

В формулах  $P_{кр}$  — критическая сила сжатия в шельге свода;

$EI$  — жесткость нижнего пояса ребра из своей плоскости без учета сопротивления решетки;

$s$  — расчетная длина сжатой ветви, равная половине длины дуги ребра.

Полное защемление в месте примыкания ребра к нижнему поясу свода-оболочки можно учитывать в том случае, если верхний и нижний пояса ребра в этом месте сходятся и соединены между собой и с оболочкой, что исключает возможность поворота нижнего пояса ребра из плоскости ребра (фиг. 50).

При определении гвоздевого забоя ребристый свод-оболочка разбивается на несколько зон (фиг. 51):

зоны 1 и 2, соответствующие нижнему растянутому поясу;

зоны 3 и 4, соответствующие средней части свода-оболочки;

<sup>1</sup> Указанные формулы разработаны в Госпроект-стройлегпроме ввж. Геништа Л. Н.

зоны 5 и 6, соответствующие верхнему сжатому поясу;

зона 7 прикрепления косого настила к торцевым стенам или к торцевому поясу.

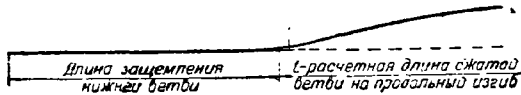
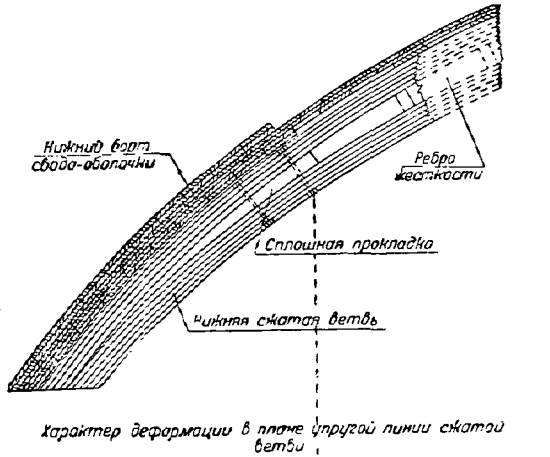
Во всех зонах кроме зон 5 и 6 расчет гвоздевого забоя производится по формулам тонкостенных сводов-оболочек. В зонах 5 и 6 необходимое количество гвоздей определяется как

$l/2$  — половина расстояния между ребрами, а  $T_{18}$  определяется из условия работы гвоздя при несимметричном сопряжении элементов.

Необходимое количество гвоздей на 1 м ребра для скрепления ребер со сводом-оболочкой определяется по формуле:

$$m = \frac{V}{T_{18}},$$

где  $V$  — касательное усиление, возникающее между сводом-оболочкой и ребром, в кг/м;  $T_{18}$  — допускаемое усилие на гвоздь.



Фиг. 50

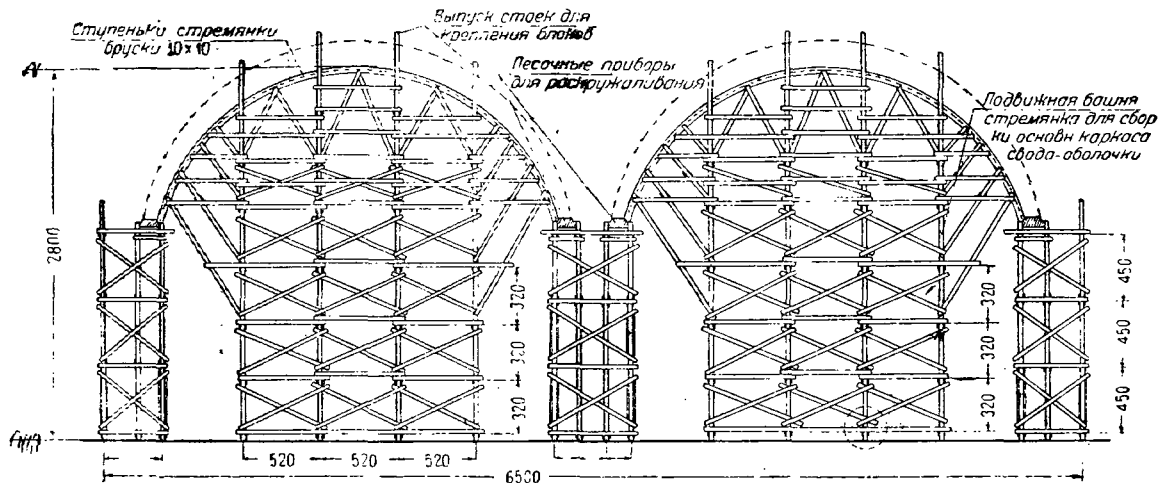
сумма количеств, определяемых из условия прикрепления косого настила к продольному и из условия сдвига досок по швам при продольном изгибе.

В последнем случае необходимое количество гвоздей на 1 м сжатого пояса определяется по формуле:

$$m = \frac{T_{18}^{1/2}}{T_{18}^{1/2}},$$

где:

$$T_{18}^{1/2} = k_c \cdot \frac{S}{2} \left( \frac{1}{\varphi_4} - 1 \right) \cdot \frac{N}{T},$$



Фиг. 52. Леса для сборки ребристого свода-оболочки; поперечный разрез

Нижний растянутый пояс

|                        |          |                     |          |          |
|------------------------|----------|---------------------|----------|----------|
| Зона N 7               | Зона N 2 | Зона N 1            | Зона N 2 | Зона N 7 |
|                        | Зона N 4 | Средняя часть       | Зона N 4 |          |
|                        | Зона N 6 | Верхний сжатый пояс | Зона N 6 |          |
|                        | Зона N 4 | Средняя часть       | Зона N 4 |          |
|                        | Зона N 2 | Зона N 1            | Зона N 2 |          |
| Нижний растянутый пояс |          |                     |          |          |
| L/2                    |          |                     | L/4      | L/4      |

Фиг. 51. Зоны гвоздевого забоя в ребристом своде-оболочке

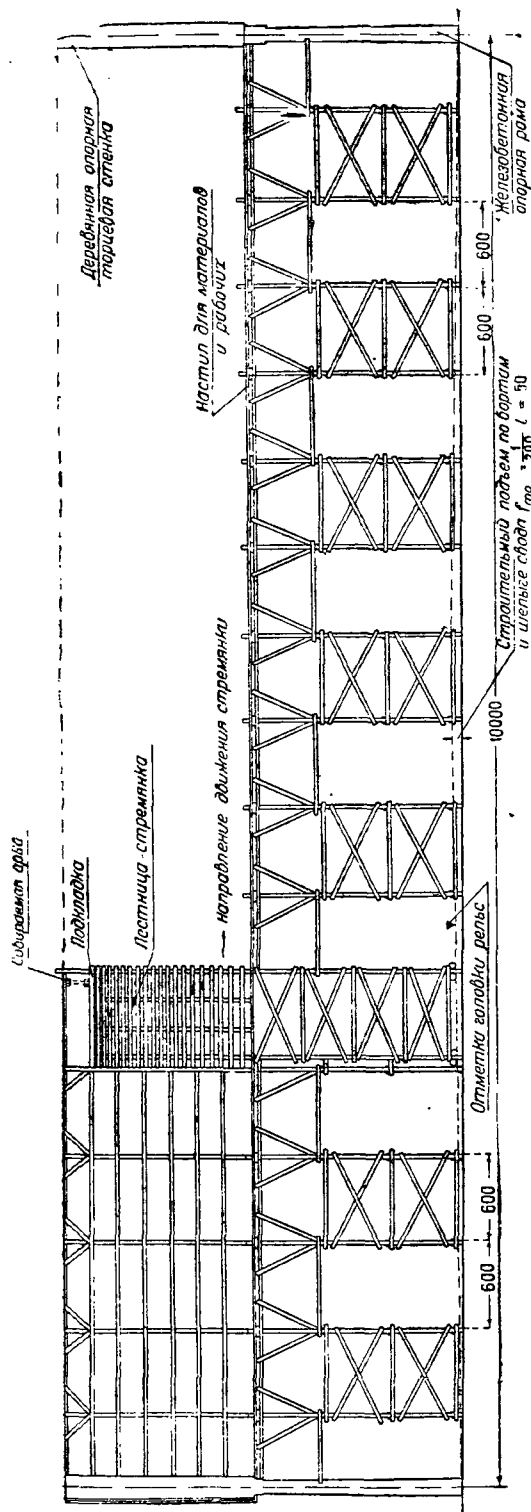
При необходимости ребристый свод-оболочка в отношении гвоздевого забоя может быть разбит и на большее количество зон.

Забой гвоздей, служащих для скрепления свода-оболочки с ребром, обычно ведется с промежуточного слоя оболочек, так как длина применяемых гвоздей, как правило, недостаточна для проведения забоя сверху.

Расчет и конструкция растянутого или сжато-растянутого торцевого пояса аналогичны приведенным для тонкостенных сводов-оболочек.

### 3) Производство работ

Наиболее совершенным способом возведения ребристых сводов-оболочек является сборка на

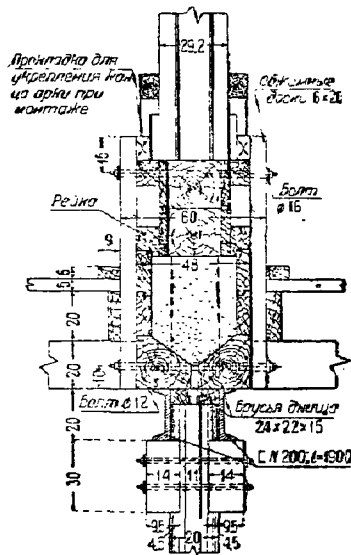


Фиг. 53. Леса для сборки ребристого свода-оболочки; продольный разрез

подвижных лесах<sup>1</sup> (фиг. 52 и 53, заключающаяся в следующем.

По бортам свода-оболочки располагаются леса эстакадного типа, служащие опорами для ребер.

Ребра собираются в вертикальном положении на подвижной башне-стремянке. Башня-стремянка, конструкция которой показана на фиг. 52 и 53, движется по рельсовому пути.



Фиг. 54. Песочница, служащая опорой для ребра при сборке

На башне-стремянке обычно собираются два ребра и соединяются между собой всеми элементами каркаса — прогонами, вспомогательными кружальными арочками, подносами и т. д.

Пять ребер обычно устанавливают на клиньях или песочницах (рис. 54), чтобы иметь возможность равномерно раскружалить свод. Чтобы придать своду строительный подъем, ребра располагаются на различной высоте.

После того как ребра собраны, производится нашивка всех настилов свода.

Укладка утеплителя и подшивка ведутся опять с башни после окончания сборки свода и кровельных работ.

В случае, если свод расположен на небольшой высоте и при частой расстановке ребер, последние собираются внизу на бойке и затем поднимаются на эстакадные леса, расположенные по продольным сторонам свода. Затем производят монтаж всех настилов свода, используя ребра вместо лесов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Инж. Каган М. Е., Свод-оболочка в дереве, «Строит. пром.» № 2—3, 1931 г.
2. Инж. Каган М. Е., Свод-оболочка в дереве, «Строитель» № 19, 1931 г.
3. ТУ и Н. Деревянные конструкции и сооружения, глава «Свод-оболочка».
4. Инженеры Каган М. Е. и Ершов П. Н., Ребристый свод-оболочка, «Строит. пром.» № 1, 1933 г.
5. Инж. Каган М. Е. и Наумов Н. И., Упругие свойства сводов-оболочек в экспериментальном освещении, «Строит. пром.» № 3, 1933 г.
6. Инж. Каган М. Е., Тонкостенный свод-оболочка в дереве, «Строит. пром.» № 6, 1934 г.

<sup>1</sup> Сборка ребристого свода-оболочки на подвижных лесах разработана в СДК ЦНИИС инж. Ершовым П. Н.



7. Инженеры Каган М. Е., Ершов П. Н., Губенко А. В., Духовный, Цыпленков И. А., Ребристый свод-оболочка, Гостройиздат, 1935 г.  
 8. Инженеры Ершов П. Н., Каган М. Е., Цыпленков И. А., Испытание модели свода-оболочки пролетом  $L = 200$  м, «Стройиндустрия» № 1, 1935 г.  
 9. Инж. Каган М. Е., Свод-оболочка, «Стройиндустрия», т. VII.  
 10. Инженеры Большанов В. В. и Каган М. Е., Основы расчета деревянных конструкций, «Стройиндустрия», т. VII.  
 11. Инж. Флик К., Деревянный свод-оболочка, «Строй. пром.» № 1, 1933 г.

12. Гвоздев А. А., К вопросу расчета цилиндрических сводов-оболочек, «Строй. пром.» № 1, 1933 г.  
 13. Власов В. З., Новый метод расчета тонкостенных призматических сводчатых покрытий и оболочек, Гостройиздат, 1933 г.  
 14. Проф. д-р-инж. Пастернак И. Л., Практический расчет сводов и цилиндрических оболочек с учетом нагибающих моментов, «Проект и стандарт» № 1, 1933 г.  
 15. Dr.-Ing. Gruber E., Berechnung Prismatischer Scheibenwerke, Abhandlungen Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, Bd. 1.

*Инж. А. Б. ГУБЕНКО*

### IV. ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА РЕБРИСТЫХ СВОДОВ-ОБОЛОЧЕК НА СИММЕТРИЧНУЮ НАГРУЗКУ <sup>1</sup>

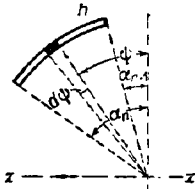
В основу приближенного расчета ребристых сводов-оболочек положены следующие предположки:

- 1) ребристый свод-оболочка <sup>2</sup> при симметричной относительно оси поперечного сечения оболочки нагрузке работает как балка;
- 2) нормальные усилия вдоль оболочки  $T_1$  воспринимаются продольными настилами, а касательные усилия  $S$  — косыми настилами;
- 3) нормальные усилия  $T_2$  и изгибающие моменты  $M_2$ , возникающие в поперечном направлении, воспринимаются ребрами.

Работой самой оболочки в поперечном направлении ввиду значительно большей жесткости ребра пренебрегаем.

#### 1. Определение моментов — статического, инерции и сопротивления — поперечного сечения оболочки

В расчет вводятся только продольные настилы с учетом их ослабления (в растянутой зоне стыками и гвоздями, в сжатой зоне — только гвоздями).



Фиг. 1

Статический момент элементарного отрезка кругового кольца постоянной ширины относительно диаметра  $x-x$  (фиг. 1) определится по формуле:

$$dC_x = Rh \, d\psi R \cos \psi = R^2 h \cos \psi \, d\psi;$$

интегрируя, находим:

$$C_x = \int_{\alpha_{n-1}}^{\alpha_n} R^2 h \cos \psi \, d\psi = R^2 h (\sin \alpha_n - \sin \alpha_{n-1}), \quad (1)$$

где  $R$  — радиус кольца;

$h$  — толщина кольца; остальные обозначения ясны из фиг. 1.

Момент инерции элементарного отрезка кольца относительно его диаметра:

$$dI_x = R \, d\psi h R^3 \cos^3 \psi;$$

<sup>1</sup> Приближенный метод расчета ребристых сводов-оболочек был предложен Коеновым В. М. в графоаналитическом виде (см. «Проект и стандарт» № 2, 1935 г.). Аналитический метод разработан автором настоящей статьи применительно к сводам-оболочкам кругового очертания.

<sup>2</sup> В дальнейшем ребристый свод-оболочка называется для краткости оболочкой.

<sup>3</sup> Для удобства здесь принято обозначение момента через  $M_2$ , а не  $G_2$ , как обычно.

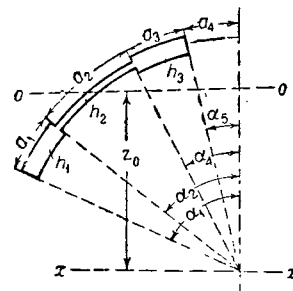
Интегрируя, находим:

$$I_x = \int_{\alpha_{n-1}}^{\alpha_n} R^3 h \cos^3 \psi \, d\psi = R^3 h \left( \frac{\alpha_n - \alpha_{n-1}}{2} + \frac{\sin 2\alpha_n - \sin 2\alpha_{n-1}}{4} \right) = \frac{1}{2} R^3 h (\alpha_n - \alpha_{n-1}) + \frac{R^3 h}{4} (\sin 2\alpha_n - \sin 2\alpha_{n-1}), \quad (2)$$

где  $F$  — площадь отрезка кольца.

Решив задачу для кругового кольца, перейдем к действительному сечению оболочки.

Рассмотрим оболочку с фонарным вырезом (фиг. 2) как более общую конструкцию. от которой уже нетрудно перейти к оболочке без фонаря.



Фиг. 2. Схема поперечного сечения оболочки

Ввиду симметрии сечения и нагрузки производим расчет для половины оболочки, взятой по одну сторону от вертикальной оси симметрии.

Принятые обозначения показаны на фиг. 2. Расчетная толщина оболочки  $h$  определяется по сечению нетто продольных настилов с учетом их ослаблений (см. выше).

Статический момент половины поперечного сечения оболочки относительно оси  $x-x$  по ф-ле (1):

$$C_x = \sum R^2 h_i (\sin \alpha_n - \sin \alpha_{n-1}) = R^2 [h_1 (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) + h_2 (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_4) + h_3 (\sin \alpha_4 - \sin \alpha_5)].$$

Рабочая площадь поперечного сечения оболочки:

$$F_{нетто} = \sum a_k h_k = a_1 h_1 + a_2 h_2 + a_3 h_3.$$

Расстояние центра тяжести поперечного сечения от горизонтального диаметра:

$$z_0 = \frac{C_x}{F_{\text{нетто}}} = R^2 \left[ \frac{h_1 (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) + h_2 (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_4) + h_3 (\sin \alpha_4 - \sin \alpha_5)}{F_{\text{нетто}}} \right]. \quad (3)$$

Момент инерции  $I_x$  поперечного сечения относительно горизонтальной диаметральной оси  $x-x$  по ф-ле (2):

$$I_x = \sum \left[ \frac{FR^2}{2} + \frac{\sin 2\alpha_n - \sin 2\alpha_{n-1}}{4} \cdot R^3 h_n \right] = \frac{1}{2} F_{\text{нетто}} R^2 + \frac{1}{4} R^3 [h_1 (\sin 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_2) + h_2 (\sin 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_4) + h_3 (\sin 2\alpha_4 - \sin 2\alpha_5)]. \quad (4)$$

Момент инерции  $I_0$  поперечного сечения относительно оси  $O-O$ , проходящей через центр тяжести сечения:

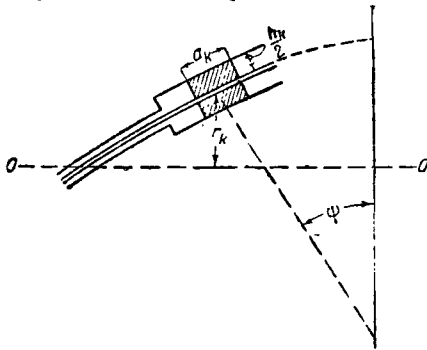
$$I_0 = F_{\text{нетто}} \left( \frac{1}{2} R^2 - z_0^2 \right) + \frac{1}{4} R^3 [h_1 (\sin 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_2) + h_2 (\sin 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_4) + h_3 (\sin 2\alpha_4 - \sin 2\alpha_5)]. \quad (5)$$

Моменты сопротивления  $W_0$  и  $W_n$  поперечного сечения для верхней и нижней кромок поперечного сечения оболочки:

$$W_0 = \frac{I_0}{R \cos \alpha_5 - z_0}; \quad W_n = \frac{I_0}{z_0 - R \cos \alpha_1}. \quad (6)$$

## 2. Определение расчетных усилий

Изгибающие моменты в ребристом своде-оболочке определяются, как для балки соответствующего сечения, по обычным формулам строительной механики в зависимости от условий закрепления на опорах.



Фиг. 3

В частности для свободно лежащей на двух опорах (торцевых стенах) оболочки, нагруженной равномерно распределенной по пролету симметричной нагрузкой:

$$M_{\text{max}} = \frac{qL^2}{8}, \quad (7)$$

где  $L$  — пролет оболочки, равный расстоянию между торцевыми стенами;

$q$  — половина полной расчетной нагрузки<sup>1</sup> на погонную единицу пролета оболочки.

Краевые напряжения:

$$n_{+\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_n}; \quad n_{-\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_0}. \quad (8)$$

<sup>1</sup> Половина нагрузка введена для возможности пользоваться выведенными выше формулами, найденными для половины поперечного сечения оболочки.

Нормальное усилие, действующее на участок  $k$ , определяется по формуле:

$$T_k^n = a_k h_k \cdot n_{\text{max}} \cdot \frac{r_k}{r_{\text{max}}} = \frac{M \Delta C \psi}{I_0}, \quad (9)$$

где  $a_k$  и  $h_k$  — размеры поперечного сечения участка;

$r_k$  — расстояние центра тяжести участка по нейтральной оси (фиг. 3);

$\Delta C \psi = a_k h_k r_k$  — статический момент рассматриваемого участка (без выше- или ниже расположенной части) относительно нейтральной оси;  $M$  и  $I_0$  имеют прежние значения.

Сообразно с изменением изгибающих моментов  $M$  усилия  $T_k$  изменяются вдоль оболочки по параболе или иному закону.

Сдвигающее усилие  $S$ , действующее в косых настилах, в любой точке поперечного сечения оболочки, характеризуемой углом  $\psi$ , определяется, как для балки, по обычной формуле:

$$S_\psi = \frac{QC_x}{I_0}, \quad (10)$$

где  $Q$  — перерезывающая сила в данном сечении;

$C_\psi$  — статический момент площади поперечного сечения (продольных настилов), сдвигающейся в точке, определяемой углом  $\psi$  относительно нейтральной оси  $O-O$  и расположенной соответственно выше или ниже данной точки (фиг. 3).

Сдвигающее усилие в произвольной точке верхнего пояса, находящейся под углом  $\psi_3$  к вертикали (фиг. 4):

$$S_3^\psi = \frac{QC_\psi}{I_0} = \frac{Q}{I_0} a_r h_3 \left( R \cos \frac{\psi - \alpha_5}{2} - z_0 \right). \quad (11)$$

Максимальное сдвигающее усилие в нижней точке верхнего пояса:

$$S_3 = \frac{Q}{I_0} a_r h_3 \left( R \cos \frac{\alpha_4 + \alpha_5}{2} - z_0 \right). \quad (12)$$

Аналогичные формулы нетрудно получить и для нижнего пояса (бортового элемента).

Сдвигающее усилие  $S_2^\psi$  в средней части поперечного сечения оболочки (между поясами) складывается из влияния собственно средней части  $S_2$  и постоянного слагаемого от сдвига верхнего пояса  $S_3$ :

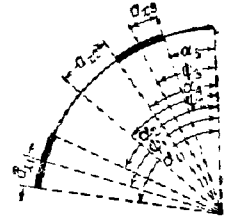
$$S_2^\psi = S_2 + S_3 = \frac{Q}{I_0} a_r h_2 \left( R \cos \frac{\alpha_1 + \psi_2}{2} - z_0 \right) + S_3. \quad (13)$$

Максимальное сдвигающее усилие в косых настилах по нейтральной оси поперечного сечения  $O-O$  получим из ф-лы (13), подставляя значения  $\psi_2 = \psi$ , и  $a_r = R(\psi_0 - \alpha_1)$ .

Сдвигающее усилие  $S_k$  между участком  $k$  поперечного сечения продольных настилов и косыми настилами (например для подсчета необходимого числа гвоздей) может быть определено по ф-ле (10):

$$S_k = \frac{Q \Delta C \psi}{I_0},$$

где  $\Delta C \psi$  — статический момент только рассматриваемого участка  $k$  без выше (или ниже) расположенной части.



Фиг. 4

Вычисления для определения величины  $I_0$ ,  $\frac{\Delta C_{\psi}}{I_0}$  и  $\frac{C_{\psi}}{I_0}$  удобно свести в таблицу следующего вида:

|    |  |
|----|--|
| 1  | № сечений  |
| 2  | Длина грани $a_n$ в м  |
| 3  | Толщина грани $h_{нстм}$ в м   |
| 4  | $a_n \cdot h_n - F_n$ в м <sup>2</sup>   |
| 5  | $a = \frac{\Sigma a_n}{R} = \frac{\Sigma (2)}{R}$  |
| 6  | $\sin a$   |
| 7  | $\sin 2a$  |
| 8  | $\sin a_n - \sin a_{n-1}$  |
| 9  | $\sin 2a_n - \sin 2a_{n-1}$  |
| 10 | $h_n (\sin a_n - \sin a_{n-1})$  |
| 11 | $h_n (\sin 2a_n - \sin 2a_{n-1})$  |
| 12 | $\frac{a_n + a_{n-1}}{2}$  |
| 13 | $\cos \frac{a_n - a_{n-1}}{2}$   |
| 14 | $R \cdot \cos \frac{a_n + a_{n-1}}{2}$   |
| 15 | $R \cdot \cos \frac{a_n - a_{n-1}}{2} - z_0$   |
| 16 | $\frac{\Delta C_{\psi}}{I_0} = \frac{F_n}{I_0} \left( R \cos \frac{a_n + a_{n-1}}{2} - z_0 \right) = \frac{(15) \cdot (4)}{I_0}$ |
| 17 | $\frac{C_{\psi}}{I_0} = \Sigma (16)$   |

Величины  $\Sigma$  в графах (5) и (17) означают сумму величин по вертикали указанных в скобках граф.

Согласно ф-ле (3):

$$z_0 = \frac{R^2 \Sigma (\sin a_n - \sin a_{n-1}) h_n}{F_{нстм}} = \frac{R^2 \Sigma (10)}{\Sigma (4)},$$

где  $\Sigma(10)$  и  $\Sigma(4)$  — сумма величин по вертикали граф 10 и 4.

Момент инерции определится по ф-ле (5):

$$I_0 = F_{нстм} \left( \frac{1}{2} R^2 - z_0^2 \right) + \frac{1}{4} R^3 \Sigma (11).$$

Вычисление значения  $\frac{\Delta C_{\psi}}{I_0}$ , а также  $\frac{C_{\psi}}{I_0}$  показано в графах 12 — 17.

### 3. Расчет ребер жесткости

Усилыя, действующие на ребро жесткости, слагаются из внешних сил, равных приращению перерезывающей силы на длине  $l$  (расстояние между ребрами) и уравнивающих их сдвигающих усилий  $V$ , возникающих в местах соприкосновения ребер с оболочкой<sup>1</sup>.

Ввиду принятой нами симметричной схемы сил каждая половина ребра может быть рассчитана, как консоль, заделанная в шельге.

#### 1) Определение внешних сил, действующих на ребро

Ввиду того что сечение ребра жесткости заранее неизвестно, предварительно для удобства расчета изгибающие моменты, нормальные и поперечные силы относим к срединной плоскости оболочки.

Для примера рассмотрим работу ребра под действием: 1) собственного веса оболочки, 2) снеговой нагрузки, равномерно распределенной по плану, и 3) крайних нагрузок. При расчете влияния кривизны бруса не учитываем вследствие большого значения отношения радиуса  $R$  к высоте сечения ребра.

Собственный вес оболочки складывается из: а) равномерно распределенной нагрузки и б) сосредоточенных нагрузок от поясов.

Равномерно распределенная нагрузка составляет из весов одного сплошного продольного и двух косых настилов и разных конструктивных элементов (ребер, промежуточных арок, прогонов и т. п.), вес которых для упрощения принимается равномерно распределенным по поверхности оболочки.

Равномерно распределенная нагрузка на 1 пог. м ребра:

$$g = g_1 l, \quad (14)$$

где  $l$  — расстояние между ребрами жесткости;  $g_1$  — равномерно распределенная нагрузка на 1 м<sup>2</sup> поверхности свода-оболочки.

Сосредоточенные нагрузки на ребро от веса поясных элементов могут быть определены по формулам:

$$P_3 = P_3' l$$

и

$$P_2 = P_2' l, \quad (15)$$

где  $P_3'$  и  $P_2'$  — вес верхнего и соответствующего нижнего поясных элементов на 1 пог. м пролета свода-оболочки (за вычетом веса одного продольного и двух косых настилов, учтенных уже при подсчете равномерной нагрузки).

Снеговая нагрузка на 1 пог. м горизонтальной проекции ребра определяется по формуле:

$$p = p_{сн} l, \quad (16)$$

где  $p_{сн}$  — снеговая нагрузка на 1 м<sup>2</sup> плана.

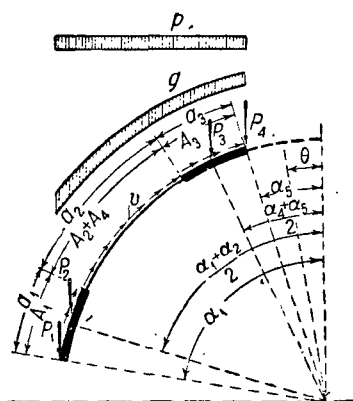
Крайние нагрузки составятся из сосредоточенных нагрузок, приложенных к реб-

<sup>1</sup> См. «Своды-оболочки».

ру: а) от собственного веса фонаря со снегом на нем  $P_4$ , б) от собственного веса горизонтального отпрыска со снегом на нем  $P_1$  и пр.

Реактивными силами, возникающими по линии соприкосновения ребра с оболочкой и уравновешивающими приложенные к ребру нагрузки, являются касательные силы  $V$ , определяемые по формуле:

$$V = \frac{\Delta Q C}{l_0} \psi \quad (17)$$



Фиг. 5. Схема нагрузки на ребро

Здесь  $\Delta Q$  — приращение поперечной силы в оболочке, равное внешней нагрузке, приходящейся на рассматриваемую половину ребра.

В данном случае:

$$\Delta Q = gs' + pb + \sum P_i$$

где  $s'$  и  $b$  — соответственно длина загруженного участка дуги поперечного сечения оболочки и проекция этого участка на горизонтальную ось.

Таким образом получаем схему нагрузки ребра жесткости, представленную на фиг. 5.

**2) Определение изгибающих моментов, нормальных и поперечных сил в ребре жесткости**

Моменты  $M$ , изгибающие ребро выпуклостью вниз, считаем положительными, выпуклостью вверх — отрицательными. Нормальные силы  $T$ , вызывающие растяжение, считаем положительными, сжатие — отрицательными.

Поперечные силы  $H$ , действующие от центра сечения оболочки, считаем положительными, к центру — отрицательными.

Определение  $T$ ,  $H$  и  $M$  от сосредоточенных сил. Если рассматриваемое сечение характеризуется углом  $\theta$  (фиг. 5), то нормальная сила:

$$T_p = \sin \theta \sum P_i \quad (18)$$

поперечная сила:

$$H_p = \cos \theta \sum P_i \quad (19)$$

Изгибающий момент  $M_p$  определится по формуле:

$$M_p = - \sum P_k (t_k - R \sin \theta) = - \sum P_k t_k + RT_p$$

где  $t_k$  — расстояние силы  $P_k$  до вертикальной оси симметрии;

$\sum P_k t_k$  означает таким образом сумму моментов всех сосредоточенных сил, лежащих слева от рассматриваемого сечения относительно шельги.

Если сечение, относительно которого берется момент, находится в пределах фонарного выреза, то выражение для  $M_p$  имеет вид:

$$M_p = - R \left( P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} + P_3 \sin \frac{\alpha_1 - \alpha_3}{2} + P_4 \sin \alpha_4 \right) + RT_p \quad (20)$$

(обозначения — по фиг. 5).

При определении  $T$ ,  $H$  и  $M$  для всех сечений учитываются только грузы, лежащие слева от сечения.

Определение  $T$ ,  $H$  и  $M$  от нагрузки  $g$ , равномерно распределенной по поверхности оболочки. Если сечение, характеризующее углом  $\theta$ , находится в пределах нагрузки, то, обозначив верхний расчетный предел нагрузки через  $\alpha_n$ , получим  $\alpha_n = \theta$ ; в противном случае  $\alpha_n = \alpha_3$  (фиг. 6). В общем случае:

$$T_g = g (\alpha_1 - \alpha_n) R \sin \theta; \\ H_g = g (\alpha_1 - \alpha_n) R \cos \theta; \quad (21)$$

$$M_g = - \int_{\alpha_n}^{\alpha_1} g R d\psi R (\sin \psi - \sin \theta) = - g R^2 [\cos \alpha_n - \cos \alpha_1 - (\alpha_1 - \alpha_n) \sin \theta] = - [g R (\cos \alpha_n - \cos \alpha_1) - T_g] R \quad (22)$$

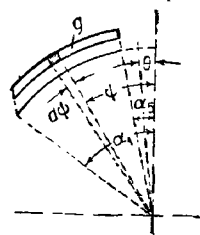
Определение  $T$ ,  $H$  и  $M$  от нагрузки  $p$ , равномерно распределенной по плану. Заменяв всю нагрузку сосредоточенной силой  $P$ , получим формулы (фиг. 7):

$$P_p = p R (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_n); \quad (23)$$

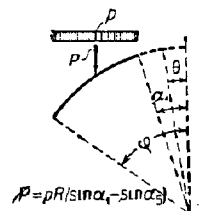
$$T_p = p R (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_n) \sin \theta; \quad (24)$$

$$H_p = p R (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_n) \cos \theta; \quad (25)$$

$$M_p = - p R (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_n) R \frac{(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_n)}{2} + RT_p = - \frac{p R^2}{2} (\sin^2 \alpha_1 - \sin^2 \alpha_n) + RT_p \quad (26)$$



Фиг. 6



Фиг. 7

Определение  $T$ ,  $H$  и  $M$  от касательных усилий  $V$ . Предварительно определим моменты, нормальные и поперечные силы для отрезка кругового кольца толщиной  $h$ , ограниченного пределами  $\lambda$  и  $\lambda + \gamma$  (фиг. 8).

Элементарное сдвигающее усилие на площадке под углом  $\psi$ :

$$dV_{\psi} = \frac{\Delta Q C_{\psi}}{I_0} R^3 d\psi = \frac{\Delta C_{\psi}}{I_0} (\psi - \lambda) R h \left( \cos \frac{\psi + \lambda}{2} - k \right) \times R d\psi \text{ [см. ф-лу (11)],}$$

где  $k = \frac{z_0}{R}$ ;  $z_0$  — расстояние от центра тяжести до диаметральной оси.

Определение  $T_{\psi}$ . Элементарная нормальная сила:

$$dT_{\psi} = dV \cos(\psi - \theta);$$

$$T_{\psi} = \int_{\lambda}^{\lambda+\gamma} dV \cos(\psi - \theta) = \frac{\Delta C_{\psi} R^3 h}{I_0} \int_{\lambda}^{\lambda+\gamma} (\psi - \lambda) \times \left( \cos \frac{\psi + \lambda}{2} - k \right) \cos(\psi - \theta) d\psi.$$

Для решения приведенного интеграла необходимо: а) раскрыть скобки, б) заменить произведения косинусов суммой по формуле:

$$\cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)}{2};$$

в) решить полученные интегралы вида  $\int \sin x \cdot \cos \frac{x+\tau}{n}$  по формуле:

$$\int u dv = uv - \int v du.$$

Произведя указанные действия, получаем:

$$\int_{\lambda}^{\lambda+\gamma} (\psi - \lambda) \left( \cos \frac{\psi + \lambda}{2} - k \right) \cos(\psi - \theta) d\psi = \left| \frac{1}{5} \psi \sin \frac{3\psi + \lambda - 2\theta}{2} + \frac{2}{9} \cos \frac{3\psi + \lambda - 2\theta}{2} + \psi \sin \frac{\psi - \lambda - 2\theta}{2} + 2 \cos \frac{\psi - \lambda - 2\theta}{2} - \frac{\lambda}{3} \sin \frac{3\psi + \lambda - 2\theta}{2} - \lambda \sin \frac{\psi - \lambda - 2\theta}{2} - k\psi \sin(\psi - \theta) - k \cos(\psi - \theta) + \lambda k \sin(\psi - \theta) \right|_{\lambda}^{\lambda+\gamma}.$$

Подставив пределы и заменив  $\sin \frac{\gamma}{n}$  через  $\frac{\gamma}{n}$  (что вследствие малости углов  $\frac{\gamma}{n}$  дает незначительную ошибку), получим <sup>1</sup>:

$$T_{\psi} = \frac{\Delta Q R^3 a^2}{2 I_0} \cdot \cos \frac{4\lambda + 3\gamma - 4\theta}{4} \left( \cos \frac{8\lambda + 3\gamma}{8} - k \right), \quad (27)$$

где  $a$  — длина дуги.

Определение  $H_{\psi}$ .

$$dH_{\psi} = dV \sin(\psi - \theta);$$

$$H_{\psi} = \int_{\lambda}^{\lambda+\gamma} \frac{\Delta Q R^3 h}{I_0} (\psi - \lambda) \left( \cos \frac{\psi + \lambda}{2} - k \right) \sin(\psi - \theta) d\psi.$$

Решая интеграл аналогично предыдущему и заменив, как и выше,  $\sin \frac{\gamma}{n}$  через  $\frac{\gamma}{n}$ , получим:

$$H_{\psi} = \frac{\Delta Q R^3 a^2}{2 I_0} \cdot \sin \frac{4\lambda + 3\gamma - 4\theta}{4} \left( \cos \frac{8\lambda + 3\gamma}{8} - k \right). \quad (28)$$

<sup>1</sup> Более подробно см. статью автора в труде «Резиновый свод-оболочка». Госстройиздат, 1935 г.

Определение  $M_{\psi}$ :

$$dM_{\psi} = \int_{\lambda}^{\lambda+\gamma} dV [1 - \cos(\psi - \theta)] R = R \int_{\lambda}^{\lambda+\gamma} dV - R \int_{\lambda}^{\lambda+\gamma} dV \cos(\psi - \theta) = R(A - T_{\psi}),$$

где  $A$  — арифметическая сумма сдвигающих усилий в пределах рассматриваемой дуги:

$$A = \int_{\lambda}^{\lambda+\gamma} \frac{\Delta Q R^3}{I_0} h (\psi - \lambda) \left( \cos \frac{\psi + \lambda}{2} - k \right) d\psi = \frac{\Delta Q R^3 h a^2}{2 I_0} \left( \cos \frac{8\lambda + 3\gamma}{8} - k \right). \quad (29)$$

Сравнив выражения для  $T_{\psi}$  и  $H_{\psi}$  с ф-лой (29), получим:

$$T_{\psi} = A \cos \frac{4\lambda + 3\gamma - 4\theta}{4}; \quad (30)$$

$$H_{\psi} = A \sin \frac{4\lambda + 3\gamma - 4\theta}{4}; \quad (31)$$

$$M_{\psi} = R(A - T_{\psi}). \quad (32)$$

Решив задачу в общем виде, перейдем к рассматриваемому сечению (фиг. 4 и 5).

Верхний бортовой элемент:  $\lambda = a_5$ ;  $\gamma = a_4 - a_5$ .

Учитывая принятое правило знаков по ф-лам (29) — (32), получаем:

$$A_3^{\psi} = \frac{\Delta Q R^3 a_3^2}{2 I_0} \left( \cos \frac{5a_5 + 3a_4}{8} - k \right);$$

$$T_3^{\psi} = -A_3^{\psi} \cos \frac{a_5 + 3a_4 - 4\theta}{4}; \quad (33)$$

$$H_3^{\psi} = -A_3^{\psi} \sin \frac{a_5 + 3a_4 - 4\theta}{4}; \quad (34)$$

$$M_3^{\psi} = R(A_3^{\psi} - T_3^{\psi}). \quad (35)$$

Нижний бортовой элемент.  $\lambda = a_1$ ;  $\gamma = a_1 - a_2$ .

$$A_1^{\psi} = \frac{\Delta Q R^3 a_1^2}{2 I_0} \left( k - \cos \frac{5a_1 + 3a_2}{8} \right); \quad (36)$$

$$T_1^{\psi} = -A_1^{\psi} \cos \frac{a_1 + 3a_2 - 4\theta}{4}; \quad (37)$$

$$H_1^{\psi} = -A_1^{\psi} \sin \frac{a_1 + 3a_2 - 4\theta}{4}; \quad (38)$$

$$M_1^{\psi} = R(A_1^{\psi} - T_1^{\psi}). \quad (39)$$

Средняя часть. Благодаря положению средней части между бортовыми элементами сдвигающее усилие, а следовательно и  $T_2^{\psi}$ ,  $H_2^{\psi}$  и  $M_2^{\psi}$ , складывается в нем из двух частей: 1) влияния собственно средней части и 2) влияния бортового элемента.

Влияние собственно средней части, определяемое по ф-лам (25) — (32) (при  $\lambda = a_4$ ;  $\gamma = a_2 - a_4$ ), дает:

$$A_2^{\psi} = \frac{\Delta Q R^3 a_2^2}{2 I_0} \left( \cos \frac{5a_4 + 3a_2}{8} - k \right); \quad (40)$$

$$T_2^{\psi} = -A_2^{\psi} \cos \frac{a_4 + 3a_2 - 4\theta}{4}; \quad (41)$$

$$H_2^{\psi} = -A_2^{\psi} \sin \frac{a_4 + 3a_2 - 4\theta}{4}; \quad (42)$$

$$M_2^{\psi} = R(A_2^{\psi} - T_2^{\psi}). \quad (43)$$

Влияние верхнего бортового элемента дает:

$$S_3 = \frac{A_1 a_3 h_3 R}{I_0} \left( \cos \frac{a_1 + a_5}{2} - k \right) \text{ [см. ф-лу (12)]; (44)}$$

$$A_4 = a_2 \cdot S_3 = \frac{A_1 R a_3 a_2 h_3}{I_0} \left( \cos \frac{a_1 + a_5}{2} - k \right); (45)$$

$$T_4^v = -A_4 \cos \left( \frac{a_4 + a_2}{2} - \theta \right);$$

$$H_4^v = -A_4 \sin \left( \frac{a_4 + a_2}{2} - \theta \right); (46)$$

$$M_4^v = R (A_4 - T_4^v). (47)$$

Суммируя все участки, получаем:

$$T_v = T_1^v + T_2^v + T_3^v + T_4^v = - \left( A_1 \cos \frac{a_1 + 3a_2 - 4\theta}{4} + A_2 \cos \frac{a_4 + 3a_2 - 4\theta}{4} + A_3 \cos \frac{a_5 + 3a_4 - 4\theta}{4} + A_4 \cos \frac{a_2 + a_4 - 2\theta}{2} \right); (48)$$

$$H_v = H_1^v + H_2^v + H_3^v + H_4^v = - \left( A_1 \sin \frac{a_1 + 3a_2 - 4\theta}{4} + A_2 \sin \frac{a_4 + 3a_2 - 4\theta}{4} + A_3 \sin \frac{a_5 + 3a_4 - 4\theta}{4} + A_4 \sin \frac{a_2 + a_4 - 2\theta}{2} \right); (49)$$

$$M_v = R (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 - T_v), (50)$$

где величины  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и  $A_4$  определяются по ф-лам (36), (40) и (45). Схема расположения сдвигающих усилий по ребру показана на фиг. 5. Этими формулами можно непосредственно пользоваться только для сечений, лежащих в пределах фонаря; здесь, как и при других нагрузках, необходимо учитывать только силы, лежащие снизу от сечения.

Суммарные усилия и моменты от всех нагрузок представляются в виде:

$$T = T_p + T_q + T_r + T_v; (51)$$

$$H = H_p + H_q + H_r + H_v; (52)$$

$$M = M_p + M_q + M_r + M_v. (53)$$

### 3) Расчет ребра жесткости на монтажную нагрузку

На монтажную нагрузку ребро рассчитывается обычно, как балка, свободно лежащая на двух опорах; возможна в некоторых случаях при соответствующем устройстве опор и арочная (распорная) схема работы ребра при монтаже.

Рассмотрим случай монтажной нагрузки ребра собственным весом оболочки (фиг. 9).

Опорные реакции:

$$B = \sum P + gR (a_1 - a_5) - P_{\text{всп}}, (54)$$

где  $P_{\text{всп}}$  — временная нагрузка (снег) на фонаре. Временную нагрузку на открытках  $P_{\text{всп}}$  из опорной реакции не вычитаем, поскольку на окончательных результатах это не отражается, и в то же время позволяет использовать полученные ранее формулы.

Для сечения, определяемого углом  $\theta$ , получаем: нормальная сила:

$$T_M = -B \sin \theta + T_p + T_g; (55)$$

изгибающий момент:

$$M_M = B (\sin a_1 - \sin \theta) R - M_p - M_g, (56)$$

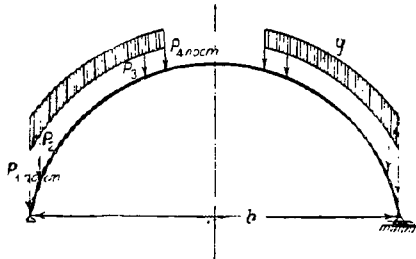
где величины  $T_p$ ,  $M_p$ ,  $T_g$  и  $M_g$  определяются по ф-лам (18) — (22).

Выведенные формулы справедливы для всех сечений ребра в пределах от его нижней точки  $I$  до края фонарного выреза (точка  $\delta$ ). В пределах фонарного выреза момент остается постоянным (равным таковому в точке  $\delta$ ), а нормальная сила равна нулю.

Все вычисления для расчета ребра жесткости удобно свести в таблицу следующего вида:

| 1  | № сечения  |
|----|--|
| 2  | $\theta$   |
| 3  | $\sin \theta$  |
| 4  | $T_p = \Sigma P \sin \theta$   |
| 5  | $T_g = gR (a_1 - a_2) \sin \theta$                                     |
| 6  | $T_r = R (\sin a_1 - \sin a_2) \sin \theta$                            |
| 7  | $A_2 \cos \left( \frac{a_5 + 3a_4}{4} - \theta \right)$                |
| 8  | $A_3 \cos \left( \frac{a_4 + 3a_2}{4} - \theta \right)$                |
| 9  | $A_1 \cos \left( \frac{a_1 + 3a_2}{2} - \theta \right)$                |
| 10 | $A_4 \cos \left( \frac{a_4 + a_2}{2} - \theta \right)$                 |
| 11 | $T_v = -[(7) + (8) + (9) + (10)]$                                      |
| 12 | $T = (4) + (5) + (6) + (11)$   |
| 13 | $M_p = -[\Sigma P \sin a - (4)] R$                                     |
| 14 | $M_g = -[gR (\cos a_2 - \cos a_1) - (5)] R$                            |
| 15 | $M_r = -\left[ \frac{PR}{2} (\sin^2 a_1 - \sin^2 a_2) - (6) \right] R$ |
| 16 | $M_v = [\Sigma A - (11)] R$  |
| 17 | $M = (13) + (14) + (15) + (16)$  |
| 18 | $M_M = B (\sin a_1 - \sin \theta) R - (13) - (14)$                     |
| 19 | $T_M = -[B \sin \theta - (4) - (5)]$                                   |

При всех вычислениях необходимо иметь в виду, что учитываются только нагрузки, лежащие ниже рассматриваемого сечения.



Фиг. 9. Моментная нагрузка

#### 4. Расчет торцевого пояса

Предпосылки, положенные в основу расчета торцевого пояса, те же, что и для пояса тонкостенной оболочки (см. статью «Своды-оболочки»), а именно:

1) торцевой пояс представляет собою гибкий элемент (веревочную нить), могущий воспринять только усилия, нормальные к его сечению;

2) в случае сжато-растянутого варианта пояса суммарная деформация всего пояса равна нулю;

3) сечение пояса по всей его длине постоянно;

4) трение между поясом и торцевой стеной в расчете не учитывается.

Растянутый пояс не имеет опор в цитах и лежит на торцевой стене подобно нити на блоке.

Сжато-растянутый пояс опирается в цитах на торцевую стену (колонны) и работает в верхней части на растяжение, а в нижней — на сжатие.

Расчетные формулы для ребристого свода-оболочки не будут отличаться от таковых для тонкостенного свода-оболочки.

Усилие в произвольном сечении растянутого пояса получается как алгебраическая сумма сдвигающих усилий ниже рассматриваемого сечения и равняется площади нижележащей части эюры сдвигающих усилий (см. статью «Своды-оболочки», фиг. 30):

$$S = \sum S_{\psi}$$

Максимальное усилие в шельге торцевого пояса равно всей площади эюры  $S$  на половине поперечного сечения свода-оболочки.

Усилие в произвольном сечении сжато-растянутого пояса, характеризуемое углом  $\psi$ :

$$U_{\psi} = \sum S_{\psi} - D.$$

Здесь  $D = \frac{a}{a}$ ,

где  $a$  — длина полулучи.

Давление пояса на торцевую стену:

$$O = \frac{U}{R}.$$

Здесь  $O$  — распределенное на торцевую стену давление от пояса;

$U$  — усилие в рассматриваемом сечении торцевого пояса.

Расчет торцевого пояса удобно свести в таблицу следующего вида:

|   |   |
|---|---|
| 1 | № сечений   |
| 2 | Длина грани $a_n$ в м                             |
| 3 | Сдвигающая сила $S$ в т/м                         |
| 4 | $\frac{S_n - 1 + S_n}{2} a_n - B_n$ в т           |
| 5 | $\Sigma B_n$ в т                                  |
| 6 | $\frac{\Sigma B_n - 1 + \Sigma B_n}{2} a_n$ в т.м |
| 7 | $U = \Sigma B_n - D$ в т                          |
| 8 | $O = \frac{U}{R}$ в т/м                           |

Опорная реакция  $D$  определится как частное:

$$D = \frac{\Sigma(6)}{\Sigma(2)},$$

где  $\Sigma(6)$  и  $\Sigma(2)$  означают сумму величин соответствующих граф по вертикали.

Инж. В. З. ВЛАСОВ и инж. А. Л. ГОЛЬДЕНВЕЙЗЕР

### V. РАСЧЕТ ТОНКОСТЕННЫХ СВОДОВ-ОБОЛОЧЕК

#### 1. Моментная теория. Дифференциальные уравнения

Общая теория работы тонкостенных оболочек, как и теория изгиба пластинок, построена на предположении, что прямолинейный элемент, взятый по толщине оболочки нормально к ее срединной поверхности, остается прямым и нормальным к этой поверхности во все время процесса упругих деформаций. Такое допущение приводит к линейному закону распределения нормальных напряжений и напряжений сдвига

оболочки по толщине ее. Исходя из этой гипотезы, можно заменить однородную тонкостенную оболочку эквивалентной ей по механическим свойствам и геометрическому очертанию срединной поверхностью. Сделанное предположение, соответствующее гипотезе плоских сечений в элементарной теории изгиба балок, значительно упрощает исследование тонкостенных оболочек, сводя его к исследованию упругих поверхностей.

Задача статического расчета тонкостенного свода-оболочки как упругой поверхности в конечном счете сводится к отысканию такого на-

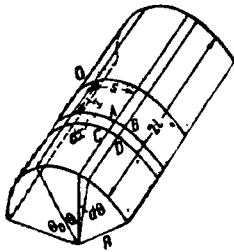
приженного состояния ее, которое в каждой точке этой поверхности удовлетворяло бы условиям равновесия и условиям совместности линейных и угловых деформаций.

Ниже мы остановимся на исследовании свода-оболочки кругового очертания, выполняемого из дерева наиболее часто.

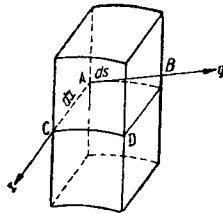
Введем обозначения:  $R$  — радиус дуги оболочки;  $2\theta$  — центральный угол дуги;  $2l$  — пролет оболочки;  $h$  — толщина его.

Отнесем срединную поверхность оболочки к цилиндрической системе координат, по которой положение любой точки  $A$  срединной поверхности может быть задано двумя координатами: расстоянием  $x$  по образующей цилиндра и расстоянием  $s$  по дуге его, отсчитываемыми от плоскости симметрии оболочки (фиг. 1).

Для получения элемента оболочки мысленно проведем вдоль и поперек ее по два параллельных сечения, отстоящих друг от друга на бесконечно-малых расстояниях  $dx$  и  $ds$ . Выделенный таким образом элемент представляет собой параллелепипед, высота которого  $h$  — величина конечная, а стороны основания  $dx$  и  $ds$  могут быть взяты сколь угодно малыми. Для составления уравнения равновесия элемента оболочки



Фиг. 1



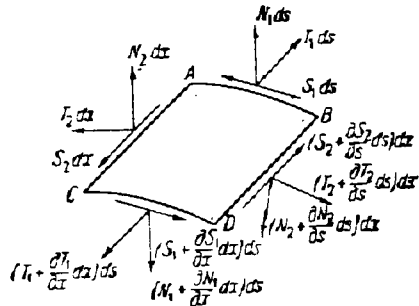
Фиг. 2

необходимо ввести еще подвижную систему координат. Начало этой системы выберем в точке  $A$  ( $x; s$ ), а оси ее  $X, Y$  и  $Z$  направим соответственно по образующей, касательной к направляющему кругу (фиг. 2) и внутренней нормали.

Следуя методу сечений, мы должны действие оболочки на выделенный элемент заменить эквивалентной ему системой сил, которую легко представить в виде пары сил и силы, приложенной в центре тяжести каждой грани элемента. Будем искать не самые силы, а компоненты их по трем взаимно перпендикулярным осям той площадки (грани), в центре тяжести которой они приложены. В результате такого разложения на каждую грань элемента, вообще говоря, будут действовать три силы и три пары, распределенные по линии пересечения грани срединной плоскостью параллелепипеда и направленные по двум осям, лежащим в плоскости грани, и одной — перпендикулярной к ней. Так как порядок измерения сторон элементарного параллелепипеда различен (при конечной высоте его  $h$  стороны основания его  $dx$  и  $ds$  бесконечно-малы), то одна из составляющих пары каждой грани — крутящий момент с вектором, направленным по оси  $Z$  подвижной системы координат, — представляет собою бесконечно-малую величину высшего порядка, и при составлении дифференциальных уравнений равновесия ею можно будет пренебречь. Каждая грань элемента подвергается теперь действию пяти силовых факторов: трех сил —

нормальной  $T$ , поперечной  $N$  и сдвигающей  $S$  — и двух моментов: изгибающего и крутящего.

Вследствие постоянства толщины  $h$  перечисленные выше силы и пары можно выразить через элементарные усилия того или иного измерения, отнесенные к единице длины грани элемента оболочки; в принятых для них обозначениях припишем внизу индекс 1 для сил поперечного сечения. Аналогично усилия, приложенные по площадкам продольного сечения, будем отмечать индексом 2.

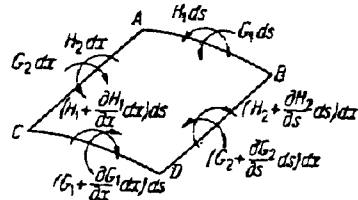


Фиг. 3

Положительные направления этих сил показаны на фиг. 2, моменты  $G$  и  $H$  будем считать положительными, если их векторы совпадают с положительными направлениями сил (фиг. 3 и 4).

Так как внутренние силы оболочки являются функциями координат рассматриваемой точки ее, то при переходе от одной грани элемента к другой, противоположной ей, одноименные усилия будут отличаться между собой на некоторые частные дифференциалы.

Помимо внутренних сил оболочки на выделенный элемент ее будет действовать еще внешняя нагрузка, которая в общем случае также является функцией координат  $x$  и  $s$ .



Фиг. 4

Обозначим нагрузку, приходящуюся на единицу поверхности оболочки, через  $q(x; s)$ . Эту нагрузку разложим по осям подвижной системы координат и полученные таким образом компоненты обозначим через  $X, Y$  и  $Z$ .

Вследствие того что напряженное состояние оболочки рассматривается в пределах упругих явлений, деформации ее, очевидно, будут малы по сравнению с основными размерами оболочки, и при составлении уравнений равновесия выделенного элемента мы эти деформации учитывать не будем. Работа оболочки при таком допущении весьма мало отличается от действительной работы ее; с другой стороны, оно сохраняет в силе принцип независимости действия сил и приводит в конечном счете к линейным дифференциальным уравнениям.



Проектируя силы на оси  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  подвижной системы координат и приравнявая суммы проекций нулю при обозначениях, указанных на фиг. 3 и 4, получим следующие уравнения равновесия:

$$\sum x = 0;$$

$$\left( T_1 + \frac{dT_1}{ds} dx \right) ds - T_1 ds - \left( S_2 + \frac{\partial S_2}{\partial s} ds \right) dx + S_2 dx + X dx ds = 0; \quad (1)$$

$$\sum y = 0;$$

$$\left( T_2 + \frac{\partial T_2}{\partial s} ds \right) dx - T_2 dx + \left( S_1 + \frac{\partial S_1}{\partial x} dx \right) ds - \left( N_2 + \frac{\partial N_2}{\partial s} ds \right) \frac{ds}{R} dx + Y dx ds = 0; \quad (2)$$

$$\sum z = 0;$$

$$\left( N_1 + \frac{\partial N_1}{\partial x} dx \right) ds - N_1 ds + \left( N_2 + \frac{\partial N_2}{\partial s} ds \right) dx - N_2 dx + \left( T_2 + \frac{\partial T_2}{\partial s} ds \right) \frac{ds}{R} dx + Z dx ds = 0. \quad (3)$$

Условия равенства нулю моментов относительно тех же осей дают еще три уравнения равновесия:

$$M_x = 0; \quad G_2 dx - \left( G_2 + \frac{\partial G_2}{\partial s} ds \right) dx + \left( H_1 + \frac{\partial H_1}{\partial x} dx \right) ds + H_1 ds + \left( N_2 + \frac{\partial N_2}{\partial s} ds \right) dx + \left( N_1 + \frac{\partial N_1}{\partial x} dx \right) ds \cdot \frac{dx}{2} - N_1 ds \frac{dx}{2} + Z dx ds \cdot \frac{dx}{2} = 0; \quad (4)$$

$$M_y = 0; \quad G_1 ds - \left( G_1 + \frac{\partial G_1}{\partial x} dx \right) ds + H_2 dx - \left( H_2 + \frac{\partial H_2}{\partial s} ds \right) dx + \left( N_1 + \frac{\partial N_1}{\partial x} dx \right) dx ds + \left( N_2 + \frac{\partial N_2}{\partial s} ds \right) dx \frac{dx}{2} - N_2 dx \frac{dx}{2} + Z dx ds \frac{dx}{2} = 0; \quad (5)$$

$$M_z = 0; \quad \left( S_1 + \frac{\partial S_1}{\partial x} dx \right) ds dx + \left( S_2 + \frac{\partial S_2}{\partial s} ds \right) dx ds + \left( H_2 + \frac{\partial H_2}{\partial s} ds \right) dx \frac{ds}{R} + T_1 ds \frac{ds}{2} - \left( T_1 + \frac{dT_1}{ds} dx \right) ds \frac{ds}{2} + \left( T_2 + \frac{\partial T_2}{\partial s} ds \right) dx \frac{dx}{2} - T_2 dx \frac{dx}{2} - \left( N_2 + \frac{\partial N_2}{\partial s} ds \right) dx \frac{dx}{2} + Y ds dx \frac{dx}{2} - X dx ds \frac{ds}{2} = 0. \quad (6)$$

Отбрасывая в выражениях (1) — (6) величины третьего порядка малости и делая необходимые преобразования, мы по сокращении на произведение  $dx ds$  получим следующую систему из шести дифференциальных уравнений равновесия:

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad & \frac{\partial T_1}{\partial x} - \frac{\partial S_2}{\partial s} + X = 0; \\ 2) \quad & \frac{\partial T_2}{\partial s} - \frac{\partial S_1}{\partial x} - \frac{N_2}{R} + Y = 0; \\ 3) \quad & \frac{\partial N_1}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial s} + \frac{T_2}{R} + Z = 0; \\ 4) \quad & \frac{\partial H_1}{\partial x} - \frac{\partial G_2}{\partial s} + N_2 = 0; \\ 5) \quad & \frac{\partial H_2}{\partial s} + \frac{\partial G_1}{\partial x} - N_1 = 0; \\ 6) \quad & H_2 + R(S_1 + S_2) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Из четвертого и пятого уравнений системы (7) поперечные силы  $N_1$  и  $N_2$  легко могут быть выражены через моменты:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{\partial H_2}{\partial s} + \frac{\partial G_1}{\partial x}; \\ N_2 &= -\frac{\partial H_1}{\partial x} + \frac{\partial G_2}{\partial s}; \end{aligned} \quad (8)$$

вставляя равенства (8) в первые три уравнения системы (7), получим три дифференциальных уравнения в частных производных с восемью неизвестными:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial x} - \frac{\partial S_2}{\partial s} + X &= 0; \\ \frac{\partial T_2}{\partial s} + \frac{\partial S_1}{\partial x} + \frac{\partial H_1}{R \partial s} - \frac{\partial G_2}{R \partial s} + Y &= 0; \\ \frac{T_2}{R} + \frac{\partial H_2}{\partial x \partial s} - \frac{\partial H_1}{\partial x \partial s} + \frac{\partial^2 G_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G_2}{\partial s^2} + Z &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Из ур-ний (9) видно, что при учете всех внутренних усилий задача круговой оболочки статически решена быть не может, ибо число искомых функций превышает число условий равновесия элемента. Задача становится статически определенной, если изгибающие и крутящие моменты приравнять нулю. В этом случае ф-ла (9) принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial x} - \frac{\partial S_2}{\partial s} + X &= 0; \\ \frac{\partial T_2}{\partial s} + \frac{\partial S_1}{\partial x} + Y &= 0; \\ \frac{T_2}{R} + Z &= 0; \quad S_1 + S_2 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Ур-ния (10) показывают, что по безмоментной теории внутренние усилия в оболочке могут быть определены из условий равновесия. Так например, в случае действия нагрузки, равномерно распределенной по поверхности оболочки (собственный вес), уравнения безмоментной теории дают формулы:

$$\begin{aligned} T_1 &= (x^2 - l^2) \frac{g \cdot \cos \theta}{R}; \\ T_2 &= -g R \cos \theta; \\ S_2 &= -S_1 = 2gx \sin \theta. \end{aligned} \quad (11)$$

Статическая определяемость внутренних усилий по безмоментной теории является большим недостатком этой теории. Исходя из ур-ния (10), мы не в состоянии удовлетворить всем видам граничных условий по продольным краям оболочки. Закон распределения внутренних усилий, их количественные значения не зависят от характера закрепления бортовых краев оболочки. Теоретические и экспериментальные исследования ЦНИПС показали, что на характер распределения внутренних усилий оболочки оказывает большое влияние характер закрепления бортовых краев ее. В зависимости от этого нормальные касательные усилия в оболочке, получаемые по моментной теории, могут отличаться не только количественно, но и качественно от усилий, которые получаются в результате расчета оболочки, как мембраны, т. е. по безмоментной теории. Причина этого явления заключается в том, что деформации бортов оболочки в значительной степени могут повлиять на моменты  $G_2$ , вызывающие деформацию изгиба оболочки по поперечному сечению. Эти же моменты главным образом и перераспределяют нормальные и касательные усилия.

По безмоментной теории мы не в состоянии учесть ни граничных условий по бортам оболочки, ни изгибающих поперечных моментов ее.

Чтобы рассчитать оболочку с учетом всех внутренних ее усилий, мы должны к уравнениям равновесия (9) присоединить еще дополнительные уравнения, вытекающие из условий совместности линейных и угловых деформаций оболочки. Эти условия легко могут быть получены из рассмотрения деформированного состояния оболочки, перемещения точек которой суть непрерывные функции координат  $x, s$ .

Обозначим компоненты полного перемещения какой-нибудь точки упругой срединной поверхности на осях  $X, Y$  и  $Z$  через  $u(x; s), v(x; s)$  и  $w(x; s)$ .

Будем считать эти компоненты положительными, если направления их совпадают с положительными направлениями соответствующих осей координат.

Рассмотрим деформацию какого-нибудь бесконечно-малого элемента оболочки. Полная деформация этого элемента может быть разложена на простейшие деформации: относительные удлинения, сдвиги и изменения кривизны.

Пусть  $l_1$  и  $l_2$  выражают собой относительные удлинения сторон  $dx$  и  $ds$  рассматриваемого элемента;  $\kappa_1$  и  $\kappa_2$  — относительные изменения кривизн тех же сторон и  $\omega$  и  $\tau$  — относительные сдвиги и кручение элемента.

Так как изгиб оболочки происходит в пределах упругих явлений, то перемещения срединной поверхности представляют собой по сравнению с основными размерами оболочки весьма малые величины. При установлении зависимостей между деформациями и перемещениями мы ограничимся только первыми степенями от этих перемещений и их производных, отбрасывая по малости квадраты и высшие степени их. В этом случае деформации элемента, очевидно, являются линейными функциями от перемещений его и их производных.

Для вывода соотношения между деформациями и перемещениями рассмотрим бесконечно-малый элемент в двух его положениях: до деформации и после деформации.

Пусть прямоугольник  $ABCD$  представляет собой в плане контур недеформированного элемента. При искривлении срединной упругой поверхности точки этого элемента получают какие-то перемещения в пространстве. Если в точке  $A(x; s)$  компоненты перемещения будут  $u, v$  и  $w$ , то в соседних точках эти компоненты получат соответствующие приращения, которые можно выразить через частные производные от них (фиг. 5).

Из чертежей усматриваем, что относительные удлинения сторон элемента получают следующие выражения:

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \frac{(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx) - u}{dx} = \frac{\partial u}{\partial x}; \\ l_2 &= \frac{(v + \frac{\partial v}{\partial s} ds - \frac{w}{R} ds) - v}{ds} = \frac{\partial v}{\partial s} - \frac{w}{R}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Для того чтобы получить относительные изменения кривизн, надо составить выражения разности углов, заключенных между нормальными к соответствующим сторонам деформированного и недеформированного элементов, и эти разности

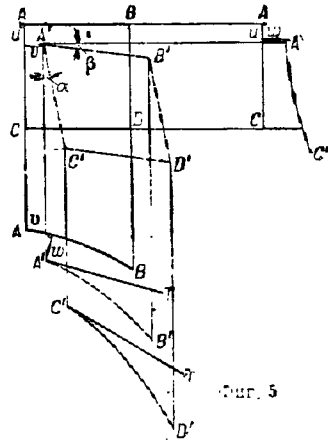
поделить на длины сторон недеформированного элемента.

Пренебрегая высшими степенями производных от перемещений, получаем:

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= \frac{\frac{\partial}{\partial x} (v + \frac{\partial v}{\partial s} ds) + \frac{\partial w}{\partial x}}{dx} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \\ \kappa_2 &= \frac{\frac{\partial}{\partial s} (u + \frac{\partial u}{\partial x} dx) + \frac{1}{2} (v + \frac{\partial v}{\partial s} ds) - \frac{\partial w}{\partial s} - \frac{v}{R}}{ds} = \\ &= \frac{\partial v}{R \partial s} + \frac{\partial^2 w}{\partial s^2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Относительный сдвиг характеризуется суммой углов  $\alpha$  и  $\beta$ , на которые повернулись стороны  $AB$  и  $AC$  рассматриваемого элемента. По малости этих углов мы можем заменить их соответствующими тангенсами; тогда получим:

$$\begin{aligned} \omega &= \alpha + \beta = \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta = \\ &= \frac{v + \frac{\partial v}{\partial x} dx - w}{dx} + \frac{u + \frac{\partial u}{\partial s} ds - w}{ds} = \\ &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial s}. \end{aligned} \quad (14)$$



Фиг. 5

Деформации кручения элемента получаются путем деления угла, заключенного между касательными  $A'T$  и  $B'T$ , в точках  $A'$  и  $B'$  деформированного элемента на длину его стороны:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{(v + \frac{\partial v}{\partial x} dx) \frac{1}{R} + \frac{\partial}{\partial s} (u + \frac{\partial u}{\partial x} dx) - \frac{v}{R} - \frac{\partial w}{\partial s}}{dx} = \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{v}{R} + \frac{\partial w}{\partial s} \right). \end{aligned} \quad (15)$$

Таким образом из рассмотрения перемещений элемента изогнутой срединной поверхности устанавливаем соотношения между шестью простейшими деформациями этого элемента и тремя компонентами перемещения его:

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \frac{\partial u}{\partial x}; \\ l_2 &= \frac{\partial v}{\partial s} - \frac{w}{R}; \\ \kappa_1 &= \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \\ \kappa_2 &= \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v}{R} + \frac{\partial w}{\partial s} \right); \\ \omega &= \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial x}; \\ \tau &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{v}{R} + \frac{\partial w}{\partial s} \right). \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Выразив деформации в функции перемещений  $u$  и  $v$  в производных от них и пользуясь линейной зависимостью между напряжениями и деформациями, мы можем восемь искомого усилий в оболочке выразить в функции перемещений  $u$ ,  $v$  и  $w$  и производных от них. Полагая Пуассонову число равным нулю, можно зависимость между усилиями и перемещениями представить в таком виде:

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= Eh l_1 = Eh \frac{\partial u}{\partial x}; \\ T_2 &= Eh l_2 = Eh \left( \frac{\partial v}{\partial s} - \frac{w}{R} \right); \\ S_1 &= -S_2 = \frac{Eh}{2} \omega = \frac{Eh}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial x} \right); \\ G_1 &= -\frac{Eh^3}{12} = -\frac{Eh^3}{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \\ G_2 &= -\frac{Eh^3}{12} = -\frac{Eh^3}{12} \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v}{R} + \frac{\partial u}{\partial s} \right); \\ H_1 &= -H_2 = \frac{Eh^3}{12} = \frac{Eh^3}{12} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{v}{R} + \frac{\partial u}{\partial s} \right). \end{aligned} \right\} (17)$$

Если подставить эти усилия в уравнения (9), то мы получим дифференциальные уравнения оболочки в перемещениях:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \bar{X} &= 0; \\ \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\partial v}{\partial \theta} - w \right) + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \\ + \frac{a^2}{12} \left[ \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \left( v + \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} \left( v + \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) \right] + \\ + \bar{Y} &= 0; \\ \left( \frac{\partial v}{\partial \theta} - w \right) - \frac{a^2}{12} \left[ \frac{\partial^4 w}{\partial \xi^4} + \frac{\partial^4}{\partial \theta^4} \left( v + \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) \right] + \\ + 2 \frac{\partial^2}{\partial \xi^2 \partial \theta} \left( v + \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \bar{Z} &= 0, \end{aligned} \right\} (18)$$

где

$$\bar{u} = \frac{s}{R}; \quad \bar{\xi} = \frac{x}{R}; \quad \bar{X} = \frac{R}{Eh} X; \\ \bar{Y} = \frac{R}{Eh} Y; \quad \bar{Z} = \frac{R}{Eh} Z; \quad a = \frac{h}{R}$$

( $h$  — ширина оболочки;  $R$  — ее радиус).

Таким образом компоненты перемещений деформированного состояния оболочки должны удовлетворять помимо граничных условий дифференциальным уравнениям (18).

Если мы найдем интегралы уравнений (18) и удовлетворим граничным условиям по торцам и бортам оболочки, а затем по соотношениям (17) определим внутренние усилия в функции переменных  $\xi = \frac{x}{R}$  и  $\theta = \frac{s}{R}$ , то полученное таким образом решение будет единственно правильным, так как оно удовлетворяет и условиям равновесия в каждой точке оболочки и условиям совместности деформаций.

## 2. Метод интегрирования дифференциальных уравнений оболочки

Своими криволинейными краями оболочка сопряжена с тонкими торцевыми стенами. Жесткость этих стен в вертикальном направлении настолько велика, что ее можно практически считать бесконечной, в горизонтальном же направлении она настолько незначительна, что ею можно пренебречь.

К обоим прямолинейным краям оболочки шарнирно присоединены прямолинейные борто-

вые элементы, свободные края которых шарнирно присоединены к абсолютно жестким продольным опорам. Предполагается, что бортовые элементы не воспринимают сдвигающих усилий.

Легко поставить граничные условия, соответствующие этому закреплению краев.

У торцевых стен, т. е. при  $\xi = \pm \lambda$  ( $\lambda = \frac{l}{R}$ ) — отношение полупролета к радиусу  $R$ , будут, очевидно, отсутствовать деформации, лежащие в плоскости торца.

Это дает  $v = w = 0$ .

Кроме того торцевые стены не воспринимают усилия, действующего в направлении образующей и изгибающего момента. Это даст  $T_1 = G = 0$ .

Из ф-л (17) легко получается:

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= \frac{Eh}{R} \cdot \frac{\partial u}{\partial \xi} = 0; \\ G &= \frac{Eh^3}{12R^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2} = 0. \end{aligned} \right\} (19)$$

Следовательно граничными условиями при  $\xi = \pm \lambda$  будут:

$$w = v = \frac{\partial u}{\partial \xi} = \frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2} = 0.$$

На прямолинейных краях бортовые элементы не воспринимают усилий, направленных по вертикали и вдоль образующей. Следовательно (фиг. 4):

$$S = T_2 \sin \theta_0 + N_2 \cos \theta_0 = 0. \quad (20)$$

Ввиду шарнирного присоединения бортовой элемент не воспринимает также изгибающего момента, т. е.  $G_2 = 0$ .

Кроме того отсутствуют горизонтальные деформации, что дает:

$$v \cos \theta_0 - w \sin \theta_0 = 0.$$

Следовательно, принимая во внимание, что бортовые элементы не воспринимают сдвигающих усилий, при  $\theta = \pm \theta_0$ :

$$\begin{aligned} S_2 = G_2 = T_2 \sin \theta_0 + N_2 \cos \theta_0 = \\ = v \cos \theta_0 - w \sin \theta_0 = 0. \end{aligned} \quad (21)$$

Такого вида оболочки были рассчитаны при различных значениях  $\lambda$  и  $\theta_0$  при загрузке их нагрузками:

1) равномерно распределенной по поверхности оболочки;

2) равномерно распределенной вдоль борта;

3) снеговой, которая принималась изменяющейся по направлению кривому по закону косинуса.

Расчет производился с учетом крутящих и изгибающих моментов нижеприводимым методом.

Рассматриваемые типы нагрузок имеют одно общее свойство: все они остаются постоянными вдоль образующей оболочки. Задача в значительной степени упростилась бы, если бы нагрузки изменялись по закону косинуса. В этом случае при принятых граничных условиях по криволинейным краям все напряжения и перемещения должны иметь либо косинусоидальный либо синусоидальный закон изменения в зависимости от того, симметричны ли они или наоборот симметричны, т. е. закон изменения искомого величин по  $\xi$  уже известен. В качестве первого приближения можно принять решение, получающееся при замене постоянного закона изменения по  $\xi$  для нагрузок косинусоидальным. Но для того, чтобы компенсировать уменьшение нагрузок около торцов,

максимальную ординату косинусов надо брать не  $g$ , а  $\frac{4}{\pi} g$ . На фиг. 6 показаны сплошной линией действительный закон изменения нагрузок, а пунктиром — принятый для расчета.

Ниже эта замена будет обоснована так же, как и необходимость брать максимальную ординату равной  $\frac{4}{\pi} g$ .

Но уже из чертежа видно, что наиболее резкие отклонения от нагрузок имеют место у торцов, т. е. как раз там, где имеются жесткие диафрагмы, воспринимающие значительную часть нагрузок; это дает основание предполагать, что погрешность при такой замене невелика.

Таким образом для равномерно распределенной и снеговой нагрузок  $\bar{X}(\xi; \theta)$ ;  $\bar{Y}(\xi; \theta)$ ;  $\bar{Z}(\xi; \theta)$  получаются следующие значения:

$$\left. \begin{aligned} \bar{X}(\xi; \theta) &= 0; \\ \bar{Y}(\xi; \theta) &= \cos \frac{\pi \xi}{\lambda} f(\theta); \\ \bar{Z}(\xi; \theta) &= \cos \frac{\pi \xi}{2\lambda} f(\theta). \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Для равномерной нагрузки:

$$\left. \begin{aligned} f(\theta) &= \frac{4}{\pi} \frac{gR^3}{Eh} \sin \theta; \\ f(\theta) &= \frac{4}{\pi} \frac{gR^2}{Eh} \cos \theta. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Для снеговой нагрузки:

$$\left. \begin{aligned} f(\theta) &= \frac{4}{\pi} \frac{gR}{Eh} \sin \theta \cos \theta; \\ f(\theta) &= \frac{4}{\pi} \frac{gR^2}{Eh} \cos^2 \theta \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

(бортовая нагрузка будет рассмотрена отдельно).

Задаемся перемещениями:

$$\left. \begin{aligned} u &= \sin \frac{\pi \xi}{2\lambda} \bar{u}(\theta); \\ v &= \cos \frac{\pi \xi}{2\lambda} \bar{v}(\theta); \\ w &= \cos \frac{\pi \xi}{2\lambda} \bar{w}(\theta). \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

При этом граничные условия на торцах уже удовлетворены независимо от того, какие значения будут иметь  $\bar{u}(\theta)$ ,  $\bar{v}(\theta)$  и  $\bar{w}(\theta)$ .

Подставляя  $u$ ,  $v$  и  $w$  в ур-ние (18), получаем:

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad & \alpha^3 \sin \alpha \xi \bar{u} - \frac{1}{2} \alpha \sin \alpha \xi \bar{v}' + \\ & + \frac{1}{2} \sin \alpha \xi \bar{u}'' = 0; \\ 2) \quad & \cos \alpha \xi \bar{v}'' - \cos \alpha \xi \bar{w}'' - \frac{1}{2} \alpha^2 \cos \alpha \xi \bar{v} + \\ & + \frac{1}{2} \alpha \cos \alpha \xi \bar{u}' + \frac{\alpha^2}{12} [\cos \alpha \xi \bar{v}'' + \\ & + \cos \alpha \xi \bar{w}'' - \alpha^2 \cos \alpha \xi \bar{v} - \alpha^2 \cos \alpha \xi \bar{w}'] + \\ & + \cos \alpha \xi f(\theta) = 0; \\ 3) \quad & \cos \alpha \xi \bar{v}'' - \cos \alpha \xi \bar{w}'' - \frac{\alpha^2}{12} [\alpha^4 \cos \alpha \xi \bar{w} + \\ & + \cos \alpha \xi \bar{v}'' + \cos \alpha \xi \bar{w}'' - 2\alpha^2 \cos \alpha \xi \bar{v}' - \\ & - 2\alpha^2 \cos \alpha \xi \bar{w}'] + \cos \alpha \xi f(\theta) = 0; \\ & \alpha = \frac{\pi}{2\lambda} \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

или по сокращении:

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad & -\alpha^2 \bar{u} + \frac{1}{2} \bar{u}'' - \frac{1}{2} \alpha \bar{v}' = 0; \\ 2) \quad & + \frac{1}{2} \alpha \bar{u}' - \alpha^2 \left( \frac{1}{2} + \frac{\alpha^2}{12} \right) \bar{v} + \\ & + \left( 1 + \frac{\alpha^2}{12} \right) \bar{v}'' - \left( 1 + \alpha^2 \frac{\alpha^2}{12} \right) \bar{w}' + \\ & + \frac{\alpha^2}{12} \bar{w}'' + f(\theta) = 0; \\ 3) \quad & \left( 1 + \frac{\alpha^2}{6} \alpha^2 \right) \bar{v}'' - \frac{\alpha^2}{12} \bar{v}'''' - \\ & - \left( 1 + \alpha^2 \frac{\alpha^2}{12} \right) \bar{w} + \alpha^2 \frac{\alpha^2}{6} \bar{w}'' - \\ & - \frac{\alpha^2}{12} \bar{w}'''' + f(\theta) = 0. \end{aligned} \right\}$$

Переменная  $\xi$  отсутствует, и закон изменения перемещений  $u$ ,  $v$  и  $w$  вдоль направляющего круга (закон изменения по  $\theta$ ) можно найти из полученной системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

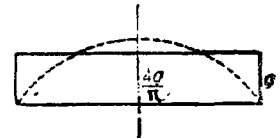
Согласно общей теории линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами решение этой системы проводится в следующем порядке.

Отбрасываем в системе (27) правые части:

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad & -\alpha^2 \bar{u} + \frac{1}{2} \bar{u}'' - \frac{1}{2} \alpha \bar{v}' = 0; \\ 2) \quad & + \frac{1}{2} \alpha \bar{u}' - \alpha^2 \left( \frac{1}{2} + \frac{\alpha^2}{12} \right) \bar{v} + \\ & + \left( 1 + \frac{\alpha^2}{12} \right) \bar{v}'' - \left( 1 + \alpha^2 \frac{\alpha^2}{12} \right) \bar{w}' + \\ & + \frac{\alpha^2}{12} \bar{w}'' = 0; \\ 3) \quad & \left( 1 + \frac{\alpha^2}{6} \alpha^2 \right) \bar{v}'' - \frac{\alpha^2}{12} \bar{v}'''' - \\ & - \left( 1 + \alpha^2 \frac{\alpha^2}{12} \right) \bar{w} + \alpha^2 \frac{\alpha^2}{6} \bar{w}'' - \\ & - \frac{\alpha^2}{12} \bar{w}'''' = 0. \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Решение полученной системы попытаемся найти в виде:

$$\left. \begin{aligned} u &= C_u e^{k\theta}; \\ v &= C_v e^{k\theta}; \\ w &= C_w e^{k\theta}. \end{aligned} \right\}$$



Фиг. 6

Подстановка в (28) и сокращение на  $e^{k\theta}$  дает:

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad & \left( -\alpha^2 + \frac{1}{2} k^2 \right) C_u - \frac{1}{2} \alpha k C_v = 0; \\ 2) \quad & \frac{1}{2} \alpha k C_u + \left[ -\alpha^2 \left( \frac{1}{2} + \frac{\alpha^2}{12} \right) + \right. \\ & + \left. \left( 1 + \frac{\alpha^2}{12} \right) k^2 \right] C_v + \left[ -\left( 1 + \alpha^2 \frac{\alpha^2}{12} \right) k + \right. \\ & + \left. \frac{\alpha^2}{12} k^2 \right] C_w = 0; \\ 3) \quad & \left[ \left( 1 + \frac{\alpha^2}{6} \alpha^2 \right) k - \frac{\alpha^2}{12} k^3 \right] C_v + \\ & + \left[ -\left( 1 + \alpha^2 \frac{\alpha^2}{12} \right) + \alpha^2 \frac{\alpha^2}{6} k^2 - \right. \\ & - \left. \frac{\alpha^2}{12} k^4 \right] C_w = 0. \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Для определения  $C_u$ ,  $C_v$  и  $C_w$  получены три однородных линейных уравнения. Эта система  $\xi$  всегда имеет решение  $C_u = C_v = C_w = 0$ . Другое решение, отличное от указанного, она имеет лишь в том случае, когда детерминант системы  $\xi$  равен нулю:

$$\Delta_k = \begin{vmatrix} \left(-\alpha^2 + \frac{1}{2}k^2\right); & -\frac{1}{2}ak; & 0 \\ +\frac{1}{2}ak; & -\alpha^2\left(\frac{1}{2} + \frac{\alpha^2}{12}\right) + \left(1 + \frac{\alpha^2}{12}\right)k^2; & -\left(1 + \alpha^2\frac{\alpha^2}{12}\right)k + \frac{\alpha^2}{12}k^3 \\ 0; & \left(1 + \frac{\alpha^2}{6}\alpha^2\right)k - \frac{\alpha^2}{12}k^3; & -\left(1 + \alpha^4\frac{\alpha^2}{12}\right) + \alpha^2\frac{\alpha^2}{6}k^2 - \frac{\alpha^2}{12}k^4 \end{vmatrix} = 0. \quad (30)$$

Отсюда следует, что не при всяком значении  $k$  можно найти решение дифференциальных уравнений в указанном виде. Необходимо так подобрать  $k^2$ , чтобы  $\Delta(k)$  было равно нулю, т. е.  $\Delta(k) = 0$  и есть уравнение, определяющее  $k$ .

Раскрывая детерминант и располагая его по степеням  $k$ , мы получим так называемое характеристическое уравнение восьмого порядка:

$$\begin{aligned} &k^8 - 2(2\alpha^2 - 1)k^6 + \\ &+ (6\alpha^4 - 7\alpha^2 + 1 + \frac{\alpha^2}{12}\alpha^4)k^4 + \\ &+ (-3\alpha^2 - 6\alpha^4 - 4\alpha^6 - \frac{\alpha^2}{4}\alpha^6)k^2 + \\ &+ \left(1 + \frac{\alpha^2}{6}\right)\left(\alpha^4 + \frac{12}{\alpha^2}\alpha^4\right) = 0. \end{aligned} \quad (31)$$

Подстановкой  $k^2 = k$  это уравнение сводится к уравнению четвертого порядка. Восемь корней его дают восемь решений. Линейная комбинация найденных решений дает общий интеграл системы (28), зависящий от восьми произвольных постоянных. Так что

$$\left. \begin{aligned} u &= \sum_{n=1}^8 C_{nu} e^{k_n \theta}; \\ v &= \sum_{n=1}^8 C_{nv} e^{i k_n \theta}; \\ w &= \sum_{n=1}^8 C_{nw} e^{k_n \theta} \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

где  $k_n$  при  $n = 1, 2, 3, \dots, 8$  суть восемь корней характеристического уравнения.

Причем  $C_{nu}$ ,  $C_{nv}$ ,  $C_{nw}$  независимы: пользуясь уравнениями (17), можно выразить  $C_{nv}$  и  $C_{nw}$  через  $C_{nu}$ . Эта часть решения — общая для обеих нагрузок. К ней необходимо прибавить еще частные интегралы системы (9).

Для равномерной нагрузки:

$$f(\theta) = \frac{4gR^2}{\pi Eh} \sin \theta; \quad f'(\theta) = \frac{4gR^2}{\pi Eh} \cos \theta,$$

и система (9) напишется так:

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad &-\alpha^2 \bar{u} + \frac{1}{2} u'' - \frac{1}{2} \alpha \bar{v}' = 0; \\ 2) \quad &+\frac{1}{2} \alpha \bar{u}' - \alpha^2 \left(\frac{1}{2} + \frac{\alpha^2}{12}\right) \bar{v} + \\ &+ \left(1 + \frac{\alpha^2}{12}\right) \bar{v}'' - \left(1 + \alpha^2 \frac{\alpha^2}{12}\right) \bar{w}' + \\ &+ \frac{\alpha^2}{12} \bar{w}'' = -\frac{4}{\pi} \cdot \frac{gR^2}{Eh} \cdot \sin \theta; \\ 3) \quad &\left(1 + \frac{\alpha^2}{6}\alpha^2\right) \bar{v}' - \frac{\alpha^2}{12} \bar{v}''' - \\ &- \left(1 + \alpha^4 \frac{\alpha^2}{12}\right) \bar{w} + \alpha^2 \frac{\alpha^2}{6} \bar{w}'' - \\ &- \frac{\alpha^2}{12} \bar{w}'''' = -\frac{4}{\pi} \frac{gR^2}{Eh} \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

и частные интегралы найдутся в виде:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u} &= A \cos \theta; \\ \bar{v} &= B \sin \theta; \\ \bar{w} &= C \cos \theta. \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

Подстановка в уравнения дает после необходимых сокращений:

$$\begin{aligned} 1) \quad &-\left(\alpha^2 + \frac{1}{2}\right)A - \frac{1}{2}\alpha B = 0; \\ 2) \quad &-\frac{1}{2}\alpha A + \left[-\alpha^2\left(\frac{1}{2} + \frac{\alpha^2}{12}\right) - \right. \\ &-\left.\left(1 + \frac{\alpha^2}{12}\right)\right]B + \left[\left(1 + \alpha^2\frac{\alpha^2}{12}\right) + \right. \\ &+ \left.\frac{\alpha^2}{12}\right]C = -\frac{4}{\pi} \frac{gR^2}{Eh}; \\ 3) \quad &\left[1 + \frac{\alpha^2}{6}\alpha^2 + \frac{\alpha^2}{12}\right]B + \\ &+ \left[-\left(1 + \alpha^4\frac{\alpha^2}{12}\right) - \alpha^2\frac{\alpha^2}{6} - \frac{\alpha^2}{12}\right]C = \\ &= -\frac{4}{\pi} \frac{gR^2}{Eh}, \end{aligned} \quad (35)$$

а эта система определяет в числах  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Для снеговой нагрузки:

$$\begin{aligned} f(\theta) &= \frac{4}{\pi} \frac{gR^2}{Eh} \sin \theta \cdot \cos \theta; \\ f'(\theta) &= \frac{4}{\pi} \frac{gR^2}{Eh} \cos^2 \theta \end{aligned}$$

решение имеем в виде:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u} &= A \cos 2\theta; \\ \bar{v} &= B \sin 2\theta; \\ \bar{w} &= C + D \cos 2\theta; \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

постоянные  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  находятся из системы (27). Прибавляя теперь к найденному ранее общему решению значения  $u$ ,  $v$  и  $w$  из уравнения (34), мы получаем полное решение для равномерно распределенной нагрузки, а, прибавляя вместо этого  $\bar{u}$ ,  $\bar{v}$  и  $\bar{w}$  из уравнений (36), — решение для снеговой нагрузки.

Остается определить восемь неопределенных постоянных, исходя из граничных условий по прямолинейным краям. При  $\theta = \pm \theta_0$  имеем:

$$\begin{aligned} S &= T_2 \sin \theta_0 + N_2 \cos \theta_0 = \\ &= G_2 = v \cos \theta_0 - w \sin \theta_0 = 0. \end{aligned} \quad (37)$$

Усилия, входящие в граничные условия, можно выразить через перемещения, пользуясь формулами (17):

$$\begin{aligned} -\frac{Eh}{2R} \left(\frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial \xi}\right) &= \frac{Eh}{R} \left(\frac{\partial v}{\partial \theta} - w\right) \sin \theta_0 - \\ &- \frac{Eh^2}{12R^3} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2}\right) \cos \theta_0 = \\ = -\frac{Eh}{12R^3} \left(\frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial \theta}\right) &= v \cos \theta_0 - w \sin \theta_0 = 0 \end{aligned} \quad (38)$$

и после сокращений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial \xi} &= \left( \frac{\partial v}{\partial \theta} - w \right) \sin \theta_0 - \\ - \frac{a^2}{12} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2} \right) \cos \theta_0 &= \frac{\partial v}{\partial \theta} + \\ + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} &= v \cos \theta_0 - w \sin \theta_0 = 0. \end{aligned} \quad (39)$$

Заменяем  $u, v, w$  их выражениями из ф-л (25):

$$\begin{aligned} \bar{u} - a\bar{v} &= (\bar{v}' - \bar{w}) \sin \theta_0 - \frac{a^2}{12} (\bar{v}'' + \bar{w}''') \cos \theta_0 = \\ &= \bar{v}' + \bar{w}''' = \bar{v} \cos \theta_0 - \bar{w} \sin \theta_0 = 0. \end{aligned} \quad (40)$$

Эти восемь уравнений (четыре при  $\theta = +\theta_0$  и четыре при  $\theta = -\theta_0$ ) дают возможность определить восемь постоянных  $^1$ .

При бортовой нагрузке будет конечно отсутствовать частный интеграл, но вертикальное усилие будет равно на прямолинейных краях не нулю, а  $G$ , которое надо будет заменить на  $\frac{4}{\pi} G \cos \alpha \xi$  из тех же соображений, что и для равномерной нагрузки.

Таким образом задача решена.

В изложенном решении мы использовали своеобразие выбранных граничных условий по криволинейным краям. Иными словами, при изменении условий закрепления криволинейных краев приходится существенно изменять и метод решения. Но условиями закрепления прямолинейных краев мы воспользовались лишь для определения произвольных постоянных  $C$ , которые можно определять и из других граничных условий по краям.

Применяя методы строительной механики, легко показать, что таким образом можно удовлетворить подавляющему большинству практически возможных граничных условий.

Пусть например к прямолинейным краям оболочки примыкают прямолинейные элементы, причем способ сопряжения с оболочкой и упругие свойства этих элементов вдоль образующей не меняются.

Прямолинейные края оболочки под действием нагрузки будут деформироваться. Величина и характер этих деформаций вполне определятся, если на краях будут даны компоненты перемещения  $u, v$  и  $w$  и угол поворота образующей  $\vartheta = \frac{1}{R} \left( \frac{\partial u}{\partial \theta} - v \right)$ .

Если нагрузка будет при этом изменяться в направлении  $\xi$  по закону косинуса, то независимо от свойств примыкающих к краям элементов  $\xi$  компоненты  $u$  будут изменяться по закону синуса, а компоненты  $v, w, \vartheta$  — по закону косинуса. От упругих свойств бортовых элементов будет зависеть лишь максимальные ординаты этих перемещений.

На бортовые элементы будут при этом передаваться синусоидальные или косинусоидальные перемещения, под влиянием которых в бортовых элементах будут возникать те или иные усилия. Если предположить, что у торцов борты также жестко сопряжены с торцевыми стенами, являющимися продолжением торцевых стен оболочки, то можно утверждать, что характер изменения усилий должен быть либо синусоидальный, либо косинусоидальный.

Очевидно, что по линии примыкания бортов к оболочке усилия в бортах должны совпадать с усилиями в оболочке, изменяющимися по за-

кону синуса или косинуса. Достигнуть этих условий неразрывности усилий можно следующим образом. Отбросим мысленно бортовые элементы и расчленим окончательно искомое состояние на пять элементарных состояний:

- 1) состояние, в котором края оболочки испытывают растяжение по образующей, изменяющейся по закону синуса, в то время как остальные деформации равны нулю и нагрузка отсутствует;
- 2) состояние, где  $u = w = \vartheta = 0$  и  $v = \cos \alpha \xi$ ;
- 3) » » »  $u = v = \vartheta = 0$  »  $w = \cos \alpha \xi$ ;
- 4) » » »  $u = v = w = 0$  »  $\vartheta = \cos \alpha \xi$ ;
- 5) » » »  $u = v = w = \vartheta = 0$

и оболочка нагружена косинусоидальной нагрузкой.

Эти пять самостоятельных задач легко решаются, им соответствуют следующие граничные условия:

$$\left. \begin{aligned} u &= \sin \alpha \xi; & 0; & 0; & 0; & -\sin \alpha \xi u(\theta_0); \\ v &= 0; & \cos \alpha \xi; & 0; & 0; & -\cos \alpha \xi v(\theta_0); \\ w &= 0; & 0; & \cos \alpha \xi; & 0; & -\cos \alpha \xi w(\theta_0); \\ \vartheta &= 0; & 0; & 0; & \cos \alpha \xi; & -\cos \alpha \xi \vartheta(\theta_0); \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

после знака равенства стоят правые части, отвечающие соответственно первому, второму, третьему и четвертому состояниям; в пятом столбце помещены свободные члены с обратными знаками.

Подставляя значения  $u, v, w$  из ф-л (25) в производя сокращение, получим:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u} &= 1; & 0; & 0; & 0; & -\bar{u}(\theta_0); \\ \bar{v} &= 0; & 1; & 0; & 0; & -\bar{v}(\theta_0); \\ \bar{w} &= 0; & 0; & 1; & 0; & -\bar{w}(\theta_0); \\ \bar{\vartheta} &= 0; & 0; & 0; & 1; & -\bar{\vartheta}(\theta_0). \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

Каждая из этих систем определяет все  $C$ . Зная все  $C$ , мы можем легко вычислить для каждого состояния все нужные нам усилия на краях.

В частности можно вычислить для всех пяти состояний усилия  $S_2, T_2, N_2$  и  $G_2$ , т. е. силу, действующую в направлении компоненты  $u$ , силу в направлении  $v$ , силу в направлении  $w$  и момент в направлении  $\vartheta$ .

Кроме того легко вычислить все усилия, возникающие в бортах, сообщая им поочередно единичные деформации в направлениях  $u, v, w$  и  $\vartheta$ .

Для того чтобы получить искомое деформированное состояние краев, необходимо первые четыре найденные состояния помножить соответственно на  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$  и сложить, прибавив к ним состояние пятое от нагрузки. В этом суммарном состоянии на краях усилия  $S_2, T_2, N_2$  и  $G_2$  будут линейными комбинациями из ранее найденных усилий. Усилия в бортовых элементах также представятся в виде линейных комбинаций ранее найденных усилий.

Составляя условия неразрывности усилий  $S_2, T_2, N_2, G_2$ , мы для определения  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$  получим четыре линейных уравнения.

Эти уравнения обладают свойствами симметричности, вытекающими из принципа взаимности упругих реакций.

Нетрудно видеть, что изложенному здесь способу наложения граничных условий в теории расчета плоских статически неопределимых систем соответствует метод деформации. Совершенно так же мы можем накладывать граничные условия по методу сил или по «смешанному» методу.

<sup>1</sup> После простых преобразований вычисления сводятся к решению четырех линейных уравнений с четырьмя неизвестными.

Возвращаясь к способу интегрирования дифференциальных уравнений оболочки, необходимо отметить, что возможность замены равномерной нагрузки косинусоидальной вытекает из следующих соображений.

Если бы эпюра нагрузки изменялась по закону  $\cos \frac{3\pi}{2l} \xi$  или вообще по закону  $\cos \frac{(2n-1)\pi\xi}{2l}$ , то решение можно было бы построить точно так же, как и для  $\cos \frac{\pi\xi}{2l}$ . Граничные условия были бы при этом выполнены, так как перемещения пришлось бы задавать в виде:

$$\left. \begin{aligned} u &= \sin \frac{(2n-1)\pi\xi}{2l} \bar{u}(\theta); \\ v &= \cos \frac{(2n-1)\pi\xi}{2l} \bar{v}(\theta); \\ w &= \cos \frac{(2n-1)\pi\xi}{2l} \bar{w}(\theta), \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

а граничные условия по прямолинейным краям накладывались бы так же, как и раньше.

Суммируя решения для различных  $n$ , мы могли бы получить решение для любой нагрузки, изменяющейся по  $\xi$  так, что ее можно было бы представить в виде линейной комбинации из  $\cos \frac{(2n-1)\pi\xi}{2l}$ .

Теорема рядов Фурье дает разложение:

$$1 = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{n+1}{2n+1} \cos \frac{(2n-1)\pi\xi}{2l}$$

Таким образом взятая нами нагрузка соответствует первому члену написанного разложения, а построенное решение — первому члену бесконечного ряда, дающего точное решение нашей задачи.

Теоретическое и практическое исследование показали, что сходимость этих рядов настолько велика, что все члены разложений, начиная со второго, практически не оказывают влияния на закон распределения внутренних усилий и деформаций по переменной  $\theta$ .

### 3. Графики для расчета тонкостенных сводов-оболочек

#### 1) Принятые обозначения

- $L$  — полная длина оболочки в  $m$ ;
- $R$  — радиус оболочки в  $m$ ;
- $b$  — хорда оболочки в  $m$ ;
- $s$  — дуга оболочки в  $m$ ;
- $h$  — толщина оболочки в  $m$ ;
- $\theta_0$  — половина центрального угла;
- $q$  — нагрузка в  $kg/m^2$  или  $kg/m$ ;
- $x$  — координата по оси  $X$ ;
- $y$  — координата по оси  $Y$ ;
- $z$  — координата по оси  $Z$ ;

$$a = \frac{h}{R}; \quad \lambda = \frac{L}{2R};$$

$T_1$  — нормальное усилие по длине оболочки в  $kg/cm$ ;

$\bar{T}_1$  — нормальное усилие по длине оболочки в среднем его сечении при  $x=0$  в  $kg/cm$ ;

$T_2$  — нормальное усилие по поперечному сечению оболочки в  $kg/cm$ ;

$\bar{T}_2$  — нормальное усилие по поперечному сечению в среднем сечении его при  $x=0$  в  $kg/cm$ ;

$S$  — касательное усилие в  $kg/cm$ ;

$\bar{S}$  — касательное усилие в опорном сечении оболочки при  $x = \frac{L}{2}$ ;

$G_1$  — изгибающий момент по длине оболочки в  $kgcm/cm$ ;

$\bar{G}_1$  — изгибающий момент по длине оболочки в среднем сечении его при  $x=0$  в  $kgcm/cm$ ;

$G_2$  — изгибающий момент по поперечному сечению в  $kgcm/cm$ ;

$\bar{G}_2$  — изгибающий момент по поперечному сечению в среднем сечении его при  $x=0$  в  $kgcm/cm$ ;

$H$  и  $\bar{H}$  — крутящие моменты в  $kgcm/cm$ ;

$N_1, \bar{N}_1, N_2$  и  $\bar{N}_2$  — поперечные силы, соответствующие изгибающим моментам  $G_1$  и  $G_2$ , в  $kg/cm$ ;

$u$  — перемещение элемента оболочки по оси  $X$ ;

$v$  — перемещение элемента оболочки по оси  $Y$ ;

$z$  — перемещение элемента оболочки по оси  $Z$ .

#### 2) Пояснения к пользованию графиками

Работа свода-оболочки вполне определяется геометрическими ее размерами, условиями закрепления краев, граничными условиями и нагрузкой.

Графики составлены для следующих геометрических размеров сводов-оболочек, определяемых величинами  $\lambda = \frac{L}{2R}$  и  $\theta_0$  и указанных в табл. 1.

Таблица 1

| $\lambda$ | $\theta_0$ в градусах |    |    |    |    |
|-----------|-----------------------|----|----|----|----|
|           | 30                    | 45 | 60 | 75 | 90 |
| $\pi/6$   | 30                    | 45 | —  | —  | —  |
| $\pi/3$   | 30                    | 45 | 60 | 75 | 90 |
| $\pi/2$   | —                     | 45 | 60 | 75 | 90 |
| $2/3\pi$  | —                     | —  | 60 | 75 | 90 |
| $\pi$     | —                     | —  | 60 | 75 | 90 |

В табл. 2 указаны значения  $\lambda = \frac{L}{2R}$ , выраженные через отношения  $\frac{L}{f}$  и  $\frac{L}{b}$  при различных  $\theta_0$ .

Таблица 2

Значения  $\lambda = \frac{L}{2R}$  при различных  $\theta$

| $\theta_0$<br>$\lambda$ | 90°   |       | 75°   |       | 60°   |       | 45°   |       | 30°   |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                         | $L/b$ | $L/f$ | $L/b$ | $L/f$ | $L/b$ | $L/f$ | $L/b$ | $L/f$ | $L/b$ | $L/f$ |
| $\pi/6$                 | —     | —     | —     | —     | —     | —     | 0,74  | 3,58  | 1,05  | 7,83  |
| $\pi/3$                 | 1,05  | 2,09  | 1,08  | 2,83  | 1,21  | 4,19  | 1,48  | 7,15  | 2,09  | 15,63 |
| $\pi/2$                 | 1,57  | 3,14  | 1,63  | 4,24  | 1,81  | 6,28  | 2,22  | 10,73 | —     | —     |
| $2/3\pi$                | 2,09  | 4,19  | 2,17  | 5,65  | 2,42  | 8,36  | —     | —     | —     | —     |
| $\pi$                   | 3,14  | 6,28  | 3,25  | 8,48  | 3,63  | 12,57 | —     | —     | —     | —     |

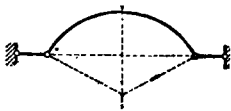
Графики составлены для граничных условий — по торцевым стенкам: при  $x = \frac{L}{2}$ ,  $v = 0$ ;  $w = 0$ ;  $g_1 = 0$ , т. е. в предположении

отсутствия смещения свода-оболочки у торцевой стены в направлении касательной и радиуса и свободного смещения в направлении образующей; по краю бортового элемента: при  $\theta = \theta_0 = 60^\circ$ ;  $v \cos \theta_0 - w \sin \theta_0 = 0$ ;  $T_2 \sin \theta_0 + N_2 \cos \theta_0 = 0$ ;  $g_2 = 0$ ;  $s = 0$ , что соответствует свободному смещению края в вертикальном направлении и отсутствию смещения в горизонтальном направлении (фиг. 7).

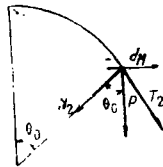
Графики составлены для следующих «единичных» нагрузок:

- 1) равномерно распределенной нагрузки по поверхности свода-оболочки интенсивностью  $q = 100 \text{ кг/м}^2$  (собственный вес свода-оболочки);
- 2) распределенной по поперечному сечению свода-оболочки по закону косинуса —  $q = 100 \cos \theta \text{ кг/м}^2$  (снеговая нагрузка);
- 3) равномерно распределенной по краю свода-оболочки  $q = 100 \text{ кг/м}^2$  (нагрузка, подвешенная к бортам свода-оболочки) (фиг. 9—11).

Так как при  $\theta_0 = 30^\circ$  разница в усилиях, вызываемых косинусоидальной нагрузкой, по сравнению с усилиями от равномерно распределенной нагрузки незначительна, графики для косинусоидальной нагрузки при этом угле не построены. Так как указанные интенсивности нагрузок приняты за «единичные», то при нагрузках другой интенсивности  $q_1$  ординаты усилий и перемещений следует умножить на отношение  $\frac{q_1}{q}$ .



Фиг. 7



Фиг. 8

Отношение толщины оболочки  $h$  к радиусу  $R$  ( $\sigma = \frac{h}{R}$ ) для всех случаев принято 0,01; для деревянных сводов-оболочек это отношение является наиболее распространенным.

Изменение величины  $a$  мало отражается на усилиях в оболочке.

Графики составлены только для усилий  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $S$  и  $G_2$ . Графики для усилий  $G_1$  и  $H$ , имеющих весьма малую величину, не составлены. Распор, возникающий по краю свода-оболочки и передающийся на закрепление края, может быть получен из рассмотрения граничных условий.

- а) Нагрузка, равномерно распределенная по поверхности свода-оболочки (фиг. 9)

Граничные условия, принятые при составлении графиков:

$$N_2 \cos \theta_0 + T_2 \sin \theta_0 = 0 \quad (45)$$

(свободы смещения края в вертикальном направлении);

$$-N_2 \sin \theta_0 + T_2 \cos \theta_0 + H_p = 0 \quad (46)$$

(отсутствие смещения края в горизонтальном направлении).

Из ф-лы (45) находим:

$$N_2 = -\frac{T_2 \sin \theta_0}{\cos \theta_0} = -T_2 \operatorname{tg} \theta_0.$$

Подставляя в ф-лу (46) значение  $N_2$ , получаем:

$$T_2 \frac{\sin^2 \theta_0}{\cos \theta_0} + T_2 \cos \theta_0 = -H_p,$$

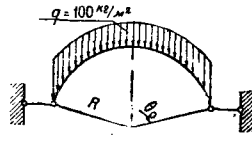
откуда:

$$H_p = -\frac{T_2}{\cos \theta_0}. \quad (47)$$

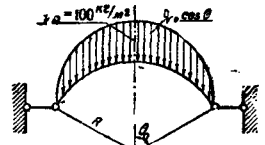
Полученная формула верна для всех углов  $\theta_0$  кроме  $\theta_0 = 90^\circ$ .

В случае, если  $\theta_0 = 90^\circ$  (фиг. 8), имеем из ф-лы (46):

$$H_p = N_2.$$



Фиг. 9



Фиг. 10

Максимум  $H_p$  возникает в середине края свода-оболочки, где

$$T_2 = \bar{T}_2 \text{ и } N_2 = \bar{N}_2.$$

Значения  $(\bar{N}_2)_{\theta=90^\circ}$  указаны в табл. 3.

Таблица 3

| $\lambda$ | $(\bar{N}_2)_{\theta=90^\circ}$ | Примечание |
|-----------|---------------------------------|------------|
| $\pi/3$   | - 3,418890 R кг/см              | R в м      |
| $\pi/2$   | - 5,177108 R »                  |            |
| $2/3\pi$  | - 7,199458 R »                  |            |
| $\pi$     | - 11,010775 R »                 |            |

По длине свода-оболочки  $H_p$  изменяется по закону:

$$H_p = \bar{H}_p \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\lambda}{R},$$

где  $\bar{H}_p$  — распор в середине длины свода-оболочки.

- б) Нагрузка, изменяющаяся по поверхности свода-оболочки по закону косинуса (фиг. 10)

Величину распора находим аналогично предыдущему. Для  $\theta_0 < 90^\circ$  распор  $H_p = -\frac{T_2}{\cos \theta_0}$  и для  $\theta_0 = 90^\circ$  распор  $H_p = \bar{N}_2$  и  $H_p = \bar{H}_p \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\lambda}{R}$ .

Значение  $(\bar{N}_2)_{\theta=90^\circ}$  для различных  $\lambda$  указаны в табл. 4.

Таблица 4

| $\lambda$ | $(\bar{N}_2)_{\theta=90^\circ}$ | Примечание |
|-----------|---------------------------------|------------|
| $\pi/3$   | + 0,151645 R кг/см              | R в м      |
| $\pi/2$   | + 0,33145 R »                   |            |
| $2/3\pi$  | + 0,625347 R »                  |            |
| $\pi$     | + 1,536858 R »                  |            |

- в) Нагрузка, равномерно распределенная по бортам свода-оболочки (фиг. 11).



Для этого случая мы будем иметь граничные условия в виде:

$$N_2 \cos \theta_0 + T_2 \sin \theta_0 = q; \quad (49)$$

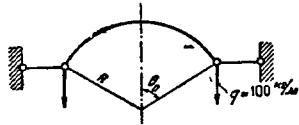
$$N_2 \sin \theta_0 - T_2 \cos \theta_0 = H_p. \quad (50)$$

Из ф-лы (49):

$$N_2 = \frac{q}{\cos \theta_0} - T_2 \operatorname{tg} \theta_0.$$

Подставляя значение  $N_2$  в ф-лу (50), получаем:

$$q \operatorname{tg} \theta_0 + T_2 \operatorname{tg} \theta_0 \sin \theta_0 + T_2 \cos \theta_0 = -H_p.$$



Фиг. 11

откуда:

$$H_p = \frac{T_2}{\cos \theta_0} - q \operatorname{tg} \theta_0 = -\frac{1}{\cos \theta_0} (-T_2 + q \sin \theta_0).$$

Полученная формула верна для всех углов  $\theta_0$ , кроме  $\theta_0 = 90^\circ$ , при котором из ф-лы (50)  $H_p = -N_2$ .

Значения  $(N_2)_{\theta=90^\circ}$  для различных  $\lambda$  указаны в табл. 5.

Таблица 5

| $\lambda$ | $(N_2)_{\theta=90^\circ}$ |
|-----------|---------------------------|
| $\pi/3$   | -0,166900 кг/см           |
| $\pi/2$   | -0,205725 »               |
| $2/3\pi$  | -0,241908 »               |
| $\pi$     | -0,307194 »               |

Все вычисленные функции изменяются по  $x$  по синусоидальному или косинусоидальному закону. Именно:  $T_1, T_2, G_2, v$  и  $w$  изменяются по закону  $\cos \frac{\pi}{2\lambda} \cdot \frac{x}{R}$ , а  $S$  и  $u$  — по закону  $\sin \frac{\pi}{2\lambda} \cdot \frac{x}{R}$ . На графиках нанесен лишь закон изменения функций по  $\theta$  в тех точках, где функция по  $x$  достигает максимума, т. е.  $T_1, T_2, G_2$  нанесены для среднего сечения, где при  $x=0$   $\cos \frac{\pi}{2\lambda} \cdot \frac{x}{R} = 1$ , а  $S$  — в опорном сечении, где при  $x = \frac{L}{2}$   $\sin \frac{\pi}{2\lambda} \cdot \frac{x}{R} = 1$ ; так что для получения значений усилий  $T_1, T_2, G_2$  и  $S$  в любой точке следует значения  $T_1, T_2, G_2$ , соответствующие выбранному  $\theta$ , умножить на  $\cos \frac{\pi}{2\lambda} \cdot \frac{x}{R}$ , а значения  $\bar{S}$  — на  $\sin \frac{\pi}{2\lambda} \cdot \frac{x}{R}$ .

В табл. 6, 7 и 8 приведены значения перемещений

$$v \text{ при } x=0 \text{ и } \theta = \theta_0$$

$$w \text{ при } x=0, \theta = 0 \text{ и } \theta = \theta_0$$

при «единичных» нагрузках: 1) равномерно распределенных по поверхности свода-оболочки  $q = 100 \text{ кг/м}^2$ , 2) меняющейся по закону косинуса по поперечному сечению свода-оболочки  $q = 100 \cos \theta \text{ кг/м}^2$  и 3) при бортовой нагрузке  $q = 100 \text{ кг/м}$ , причем знаком плюс обозначено перемещение, направленное вниз, а знаком минус — вверх.

При определении перемещений условный модуль упругости составного сечения свода-оболочки для воздушно-сухой сосны может быть принят  $E_{св.-об} = 55\,000 \text{ кг/см}^2$ .

Таблица 6

Перемещения в среднем поперечном сечении свода-оболочки при нагрузке, равномерно распределенной по поверхности

$q$  — нагрузка в кг/см<sup>2</sup>;  
 $R$  — радиус в см;  
 $E$  — модуль упругости в кг/см<sup>2</sup>

| $\lambda$ | $\theta$ | $v(\theta = \theta_0)$  | $w(\theta = \theta_0)$  | $w(\theta = 0)$          |
|-----------|----------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| $\pi/3$   | 60       | 4 053,1 $\frac{qR}{E}$  | 2 340,0 $\frac{qR}{E}$  | -3 112,5 $\frac{qR}{E}$  |
|           | 90       | 1 675,4 $\frac{qR}{E}$  | 0                       | 555,9 $\frac{qR}{E}$     |
| $\pi/2$   | 60       | 11 445,6 $\frac{qR}{E}$ | 6 608,1 $\frac{qR}{E}$  | -5 015,8 $\frac{qR}{E}$  |
|           | 90       | 5 594,1 $\frac{qR}{E}$  | 0                       | 924,3 $\frac{qR}{E}$     |
| $2/3\pi$  | 60       | 24 342,2 $\frac{qR}{E}$ | 14 054,0 $\frac{qR}{E}$ | -3 983,9 $\frac{qR}{E}$  |
|           | 90       | 13 649,4 $\frac{qR}{E}$ | 0                       | -5 221,5 $\frac{qR}{E}$  |
| $\pi$     | 60       | 87 887,8 $\frac{qR}{E}$ | 50 742,0 $\frac{qR}{E}$ | -74 232,4 $\frac{qR}{E}$ |
|           | 90       | 44 456,0 $\frac{qR}{E}$ | 0                       | -8 136,0 $\frac{qR}{E}$  |

Таблица 7

Перемещения в среднем поперечном сечении свода-оболочки при нагрузке, изменяющейся по поверхности по закону косинуса

$q$  — нагрузка в кг/см<sup>2</sup> при  $\theta = 0$ ;  
 $R$  — радиус в см;  
 $E$  — модуль упругости в кг/см<sup>2</sup>

| $\lambda$ | $\theta_0$ | $v(\theta = \theta_0)$  | $w(\theta = \theta_0)$  | $w(\theta = 0)$         |
|-----------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $\pi/3$   | 60         | 2 634,5 $\frac{qR}{E}$  | 1 521,0 $\frac{qR}{E}$  | -1 260,2 $\frac{qR}{E}$ |
|           | 90         | 129,6 $\frac{qR}{E}$    | 0                       | 787,6 $\frac{qR}{E}$    |
| $\pi/2$   | 60         | 8 020,9 $\frac{qR}{E}$  | 4 630,9 $\frac{qR}{E}$  | 1 063,2 $\frac{qR}{E}$  |
|           | 90         | 573,8 $\frac{qR}{E}$    | 0                       | 2 528,1 $\frac{qR}{E}$  |
| $2/3\pi$  | 60         | 18 270,8 $\frac{qR}{E}$ | 10 548,7 $\frac{qR}{E}$ | 7 334,5 $\frac{qR}{E}$  |
|           | 90         | 1 879,6 $\frac{qR}{E}$  | 0                       | 6 244,1 $\frac{qR}{E}$  |
| $\pi$     | 60         | 70 922,5 $\frac{qR}{E}$ | 40 947,2 $\frac{qR}{E}$ | 66 032,1 $\frac{qR}{E}$ |
|           | 90         | 11 551,4 $\frac{qR}{E}$ | 40 947,2 $\frac{qR}{E}$ | 22 030,7 $\frac{qR}{E}$ |

Таблица 8

Перемещения в среднем поперечном сечении свода-оболочки при нагрузке, равномерно распределенной по краю (бортовая нагрузка)

$q$  — нагрузка в кг/см;  
 $E$  — модуль в кг/см<sup>2</sup>

| $\lambda$ | $\theta_0$ | $v(\theta = \theta_0)$ | $w(\theta = \theta_0)$ | $w(\theta = 0)$        |
|-----------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $\pi/3$   | 60         | $5443,1 \frac{q}{E}$   | $3142,4 \frac{q}{E}$   | $-5638,6 \frac{q}{E}$  |
|           | 90         | $3669,2 \frac{q}{E}$   | 0                      | $963,4 \frac{q}{E}$    |
| $\pi/2$   | 60         | $14146,1 \frac{q}{E}$  | $8167,2 \frac{q}{E}$   | $-11275,4 \frac{q}{E}$ |
|           | 90         | $10076,0 \frac{q}{E}$  | 0                      | $-3094,4 \frac{q}{E}$  |
| $3/4\pi$  | 60         | $27365,4 \frac{q}{E}$  | $15799,4 \frac{q}{E}$  | $-4787,0 \frac{q}{E}$  |
|           | 90         | $21736,1 \frac{q}{E}$  | 0                      | $-15940,7 \frac{q}{E}$ |
| $\pi$     | 60         | $88720,9 \frac{q}{E}$  | $15223,0 \frac{q}{E}$  | $-60671,3 \frac{q}{E}$ |
|           | 60         | $17857,7 \frac{q}{E}$  | 0                      | $-46608,1 \frac{q}{E}$ |

3) Пример пользования графиками

Требуется определить 1) максимальные расчетные усилия  $T_1, T_2, S$  и  $G_2$ , а также распор  $H_p$ ; 2) перемещение  $w$  при  $x = 0, \theta = 0$ , 3) перемещение  $v$  при  $\theta = 60^\circ$ , возникающее в своде-оболочке с основными размерами:

$L = 40 \text{ м}, b = 22 \text{ м},$   
 $f = 6,35 \text{ м}, \theta_0 = 60^\circ, R = 12,7 \text{ м}.$

1) Нагрузки: равномерно распределенная по поверхности свода-оболочки (собственный вес свода-оболочки)  $g = 40 \text{ кг/м}^2$ ;

2) бортовая (собственный вес открылка, передающийся на борт свода-оболочки)  $g_1 = 60 \text{ кг/м}$ ;

3) имеющаяся по поперечному сечению свода-оболочки по закону косинуса (снег):

$p = 80 \cos \theta \text{ кг/м}^2.$

Для свода-оболочки указанных размеров имеем:

$\lambda = \frac{L}{fR} = \frac{40}{2 \cdot 12,7} \approx 1,57 = \frac{\pi}{2}.$

По графикам 9 — 12 для  $\theta = 60^\circ$  находим усилия от собственного веса  $g = 40 \text{ кг/м}^2$ :

$(-T_1)_{\theta=25^\circ} = 7,20 \cdot 12,70 \cdot \frac{40}{100} = -36,60 \text{ кг/см};$

$(+T_1)_{\theta=60^\circ} = +27,20 \cdot 12,70 \cdot \frac{40}{100} = +138,00 \text{ кг/см};$

$(-T_2)_{\theta=0^\circ} = -1,60 \cdot 12,70 \cdot \frac{40}{100} = -6,08 \text{ кг/см};$

$(+T_2)_{\theta=55^\circ} = +0,12 \cdot 12,70 \cdot \frac{40}{100} = +0,61 \text{ кг/см};$

$(+T)_{\theta=40^\circ} = +3,80 \cdot 12,70 \cdot \frac{40}{100} = +19,30 \text{ кг/см};$

$(-G_2)_{\theta=0^\circ} = -1,90 \cdot 12,70^2 \cdot \frac{40}{100} = -122,60 \text{ кгсм/см};$

$(+G_2)_{\theta=45^\circ} = +2,57 \cdot 12,70^2 \cdot \frac{40}{100} = +165,80 \text{ кгсм/см};$

$H_p = \frac{(T_2)_{\theta=\theta_0}}{\cos \theta_0} = 0,11 \cdot 12,70 \cdot \frac{40}{100} \cdot 2 = 1,12 \text{ кг/см}.$

По таблицам находим перемещения  $w$  и  $v$ :

$(w)_{\theta=0^\circ} = -\frac{5015,8 \cdot 0,004 \cdot 1270}{55000} = -0,464 \text{ см};$

$(w)_{\theta=60^\circ} = +\frac{6608,1 \cdot 0,004 \cdot 1270}{55000} = +0,610 \text{ см};$

$(v)_{\theta=60^\circ} = \frac{11455,6 \cdot 0,004 \cdot 1270}{55000} = 1,06 \text{ см}.$

По графикам 45 — 48 для  $\theta_0 = 60^\circ$  находим усилия от бортовой нагрузки  $g_1 = 60 \text{ кг/см}$

$(-T_1)_{\theta=25^\circ} = -0,50 \cdot \frac{60}{100} = -0,30 \text{ кг/см};$

$(+T_1)_{\theta=60^\circ} = +1,92 \cdot \frac{60}{100} = +1,15 \text{ кг/см};$

$(-T_2)_{\theta=0^\circ} = -0,43 \cdot \frac{60}{100} = -0,26 \text{ кг/см};$

$(+T_2)_{\theta=55^\circ} = +1,60 \cdot \frac{60}{100} = +0,96 \text{ кг/см};$

$(+S)_{\theta=40^\circ} = +3,75 \cdot \frac{60}{100} = +2,25 \text{ кг/см};$

$(-G_2)_{\theta=0^\circ} = -2,8 \cdot 12,70 \cdot \frac{60}{100} = -21,30 \text{ кгсм/см};$

$(+G_2)_{\theta=75^\circ} = +4,0 \cdot 12,70 \cdot \frac{60}{100} = +30,5 \text{ кгсм/см};$

$H_p \approx \frac{T_2}{\cos \theta_0} = -P \operatorname{tg} \theta_0 = 1,65 \times$

$\times \frac{60}{100} \cdot 2 - 0,6 \cdot 1,73 = 1,98 - 1,04 = 0,94 \text{ кг/см}.$

По табл. 8 находим перемещения 10 при  $\theta_0 = 0^\circ$ :

$w_{\theta=0^\circ} = -\frac{11275,4 \cdot 0,60}{55000} = -0,112 \text{ см};$

$w_{\theta=60^\circ} = +\frac{8167,2 \cdot 0,60}{55000} = +0,089 \text{ см};$

$v_{\theta=60^\circ} = +\frac{14146,1 \cdot 0,60}{55000} = +0,154 \text{ см}.$

По графикам 29 — 32 для  $\theta_0 = 60^\circ$  находим усилия от снеговой нагрузки, меняющейся по

поперечному сечению свода-оболочки по закону косинуса:

$$p = 80 \cos \theta \text{ кг/м}^2;$$

$$(-\bar{T}_1)_{\theta=25^\circ} = -5 \cdot 12,70 \cdot \frac{80}{100} = -50,8 \text{ кг/см};$$

$$(+\bar{T}_1)_{\theta=60^\circ} = +21 \cdot 12,70 \cdot \frac{80}{100} = +213 \text{ кг/см};$$

$$(-\bar{T}_2)_{\theta=0^\circ} = -1,5 \cdot 12,70 \cdot \frac{80}{100} = -15,2 \text{ кг/см};$$

$$(+\bar{T}_2)_{\theta=55^\circ} = +0,04 \cdot 12,70 \cdot \frac{80}{100} = +0,41 \text{ кг/см};$$

$$(+\bar{S})_{\theta=40^\circ} = +3,2 \cdot 12,70 \cdot \frac{80}{100} = +32,5 \text{ кг/см};$$

$$(-\bar{G}_2)_{\theta=0^\circ} = -1,15 \cdot 12,70^2 \cdot \frac{80}{100} = -148,4 \text{ кгсм/см};$$

$$(+\bar{G}_2)_{\theta=45^\circ} = +1,45 \cdot 12,70^2 \cdot \frac{80}{100} = +187,1 \text{ кгсм/см}.$$

По таблицам находим перемещения  $w$  при  $\theta_0 = 0^\circ$ :

$$w_{\theta=0^\circ} = \frac{1083 \cdot 0,008 \cdot 1270}{55 \cdot 000} = -0,20 \text{ см};$$

$$w_{\theta=60^\circ} = + \frac{4 \cdot 630,9 \cdot 0,008 \cdot 1270}{55 \cdot 000} = +0,855 \text{ см};$$

$$v = \frac{8020,9 \cdot 0,008 \cdot 12,70}{55 \cdot 000} = +1,48 \text{ см}.$$

Суммарные расчетные усилия будут:

$$(-\bar{T}_1)_{\theta=25^\circ} = -(36,60 + 0,30 + 50,80) = -87,70 \text{ кг/см};$$

$$(+\bar{T}_1)_{\theta=60^\circ} = +(136 + 1,15 + 213) = +352,15 \text{ кг/см};$$

$$(-\bar{T}_2)_{\theta=0^\circ} = -(6,08 + 0,26 + 15,20) = -21,54 \text{ кг/см};$$

$$(+\bar{T}_2)_{\theta=55^\circ} = +(0,61 + 0,96 + 0,41) = +1,98 \text{ кг/см};$$

$$(+S_2)_{\theta=40^\circ} = +(19,30 + 2,25 + 32,50) = +54,05 \text{ кг/см};$$

$$(-\bar{G}_2)_{\theta=0^\circ} = -(122,60 + 21,30 + 148,40) = -292,30 \text{ кгсм/см};$$

$$(+\bar{G}_2)_{\theta=45^\circ} = +(165,80 + 30,50 + 187,10) = +383,40 \text{ кгсм/см};$$

$$H_p = 1,12 + 0,94 = 2,06 \text{ кг/см}.$$

Суммарные перемещения  $w$  и  $v$  будут:

$$w_{\theta=0^\circ} = -(0,464 + 0,112 + 0,200) = -0,776 \text{ см};$$

$$w_{\theta=60^\circ} = +(0,611 + 0,089 + 0,855) = +1,554 \text{ см};$$

$$v_{\theta=60^\circ} = +(1,060 + 0,154 + 1,480) = +2,694 \text{ см}.$$

I. Графики усилий  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $G$  и  $S_2$  от вертикальной нагрузки

$G = 100 \text{ кг/м}^2$  равномерно распределенной по поверхности оболочки

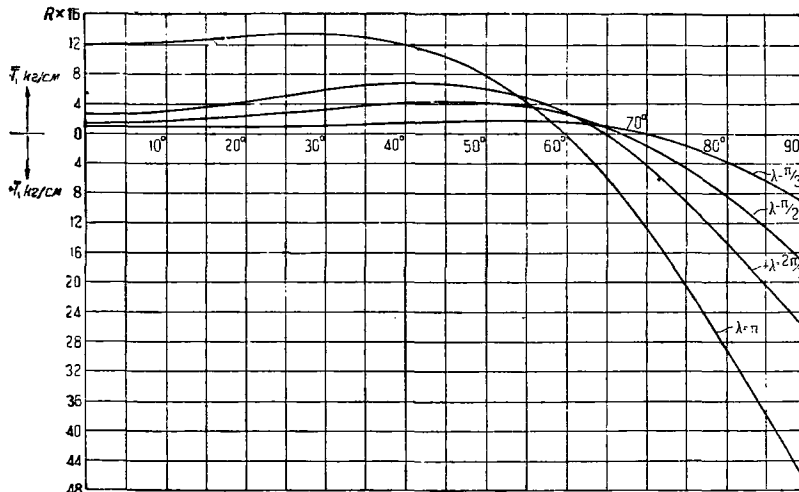


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

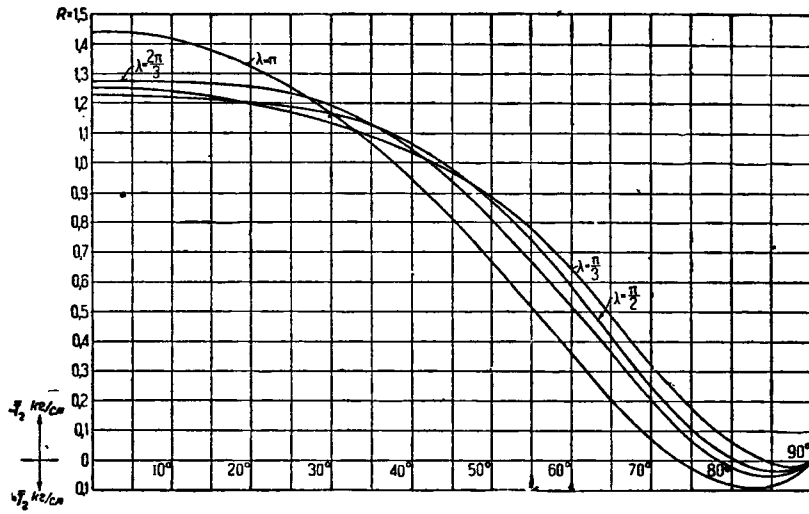


График усилия  $T_2$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

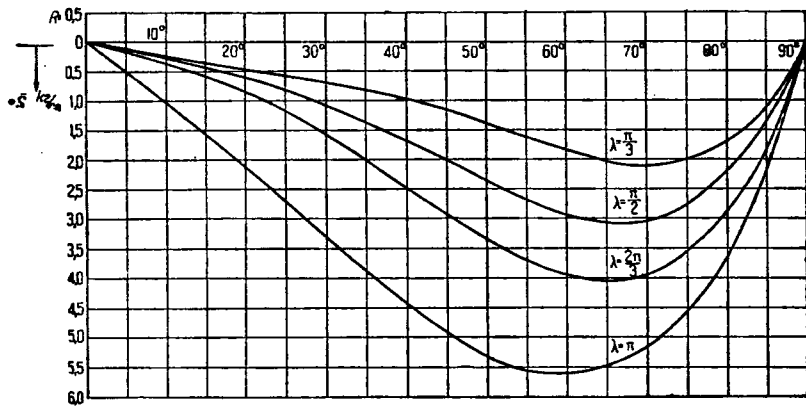


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

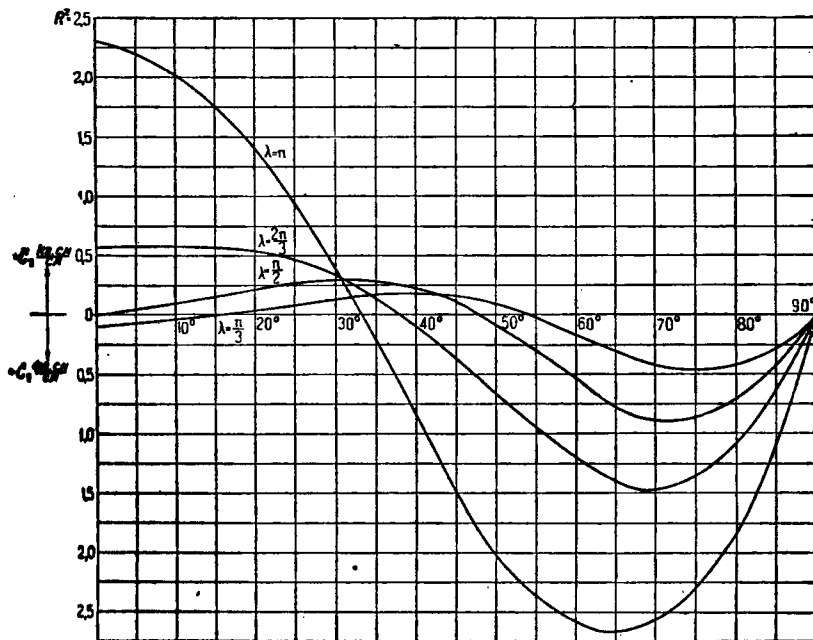


График усилия  $G$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

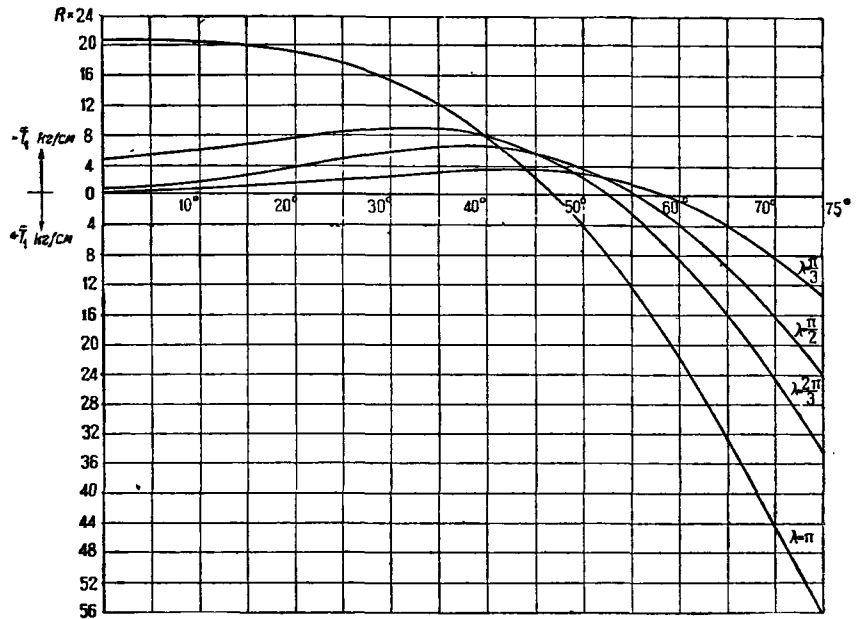


График усилия  $T$ , для  $\theta_0 = 75^\circ$

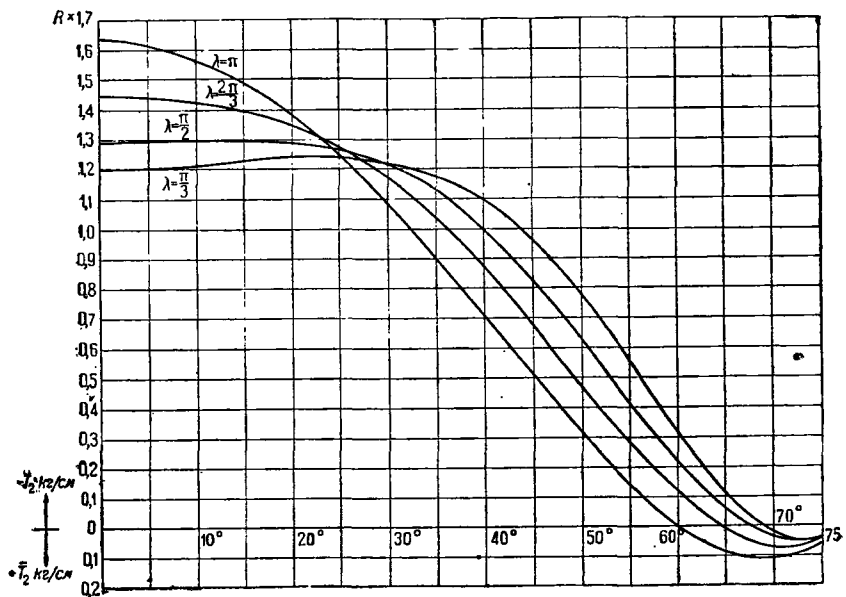


График усилия  $T$ , для  $\theta_0 = 75^\circ$

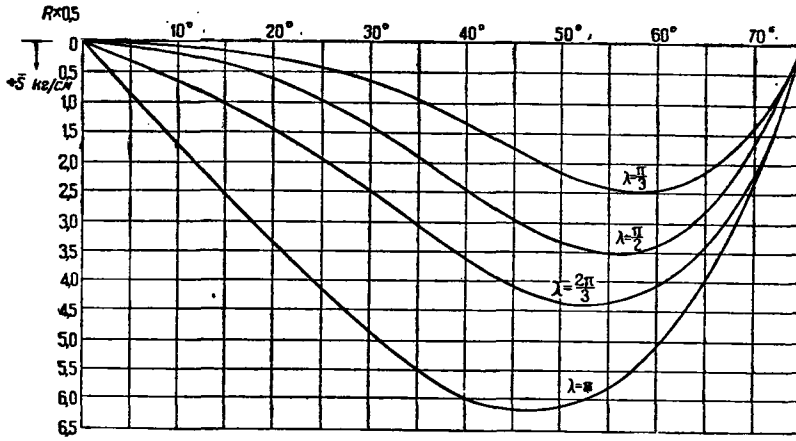


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 75^\circ$

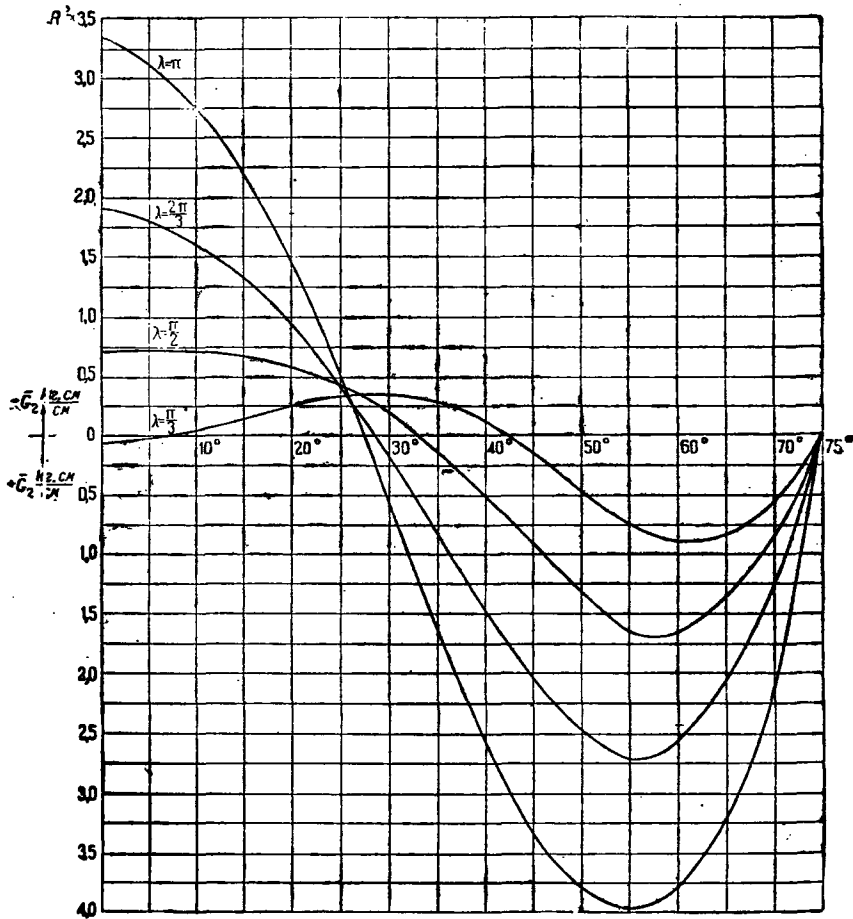


График усилия  $G$ , для  $\theta_0 = 75^\circ$

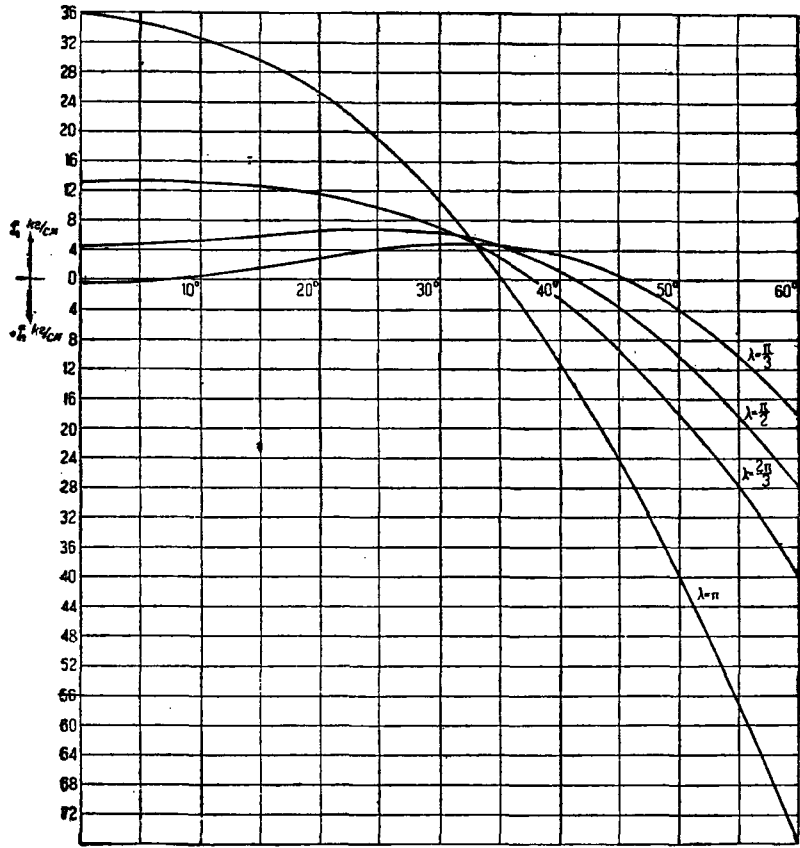


график усилии  $T_2$  для  $\theta_0 = 60^\circ$

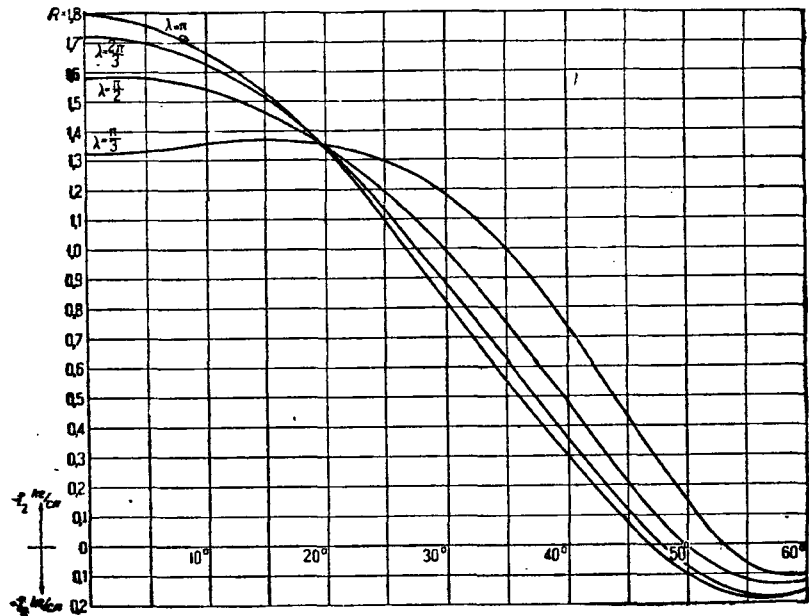


График усилии  $T$ , для  $\theta_0 = 60^\circ$

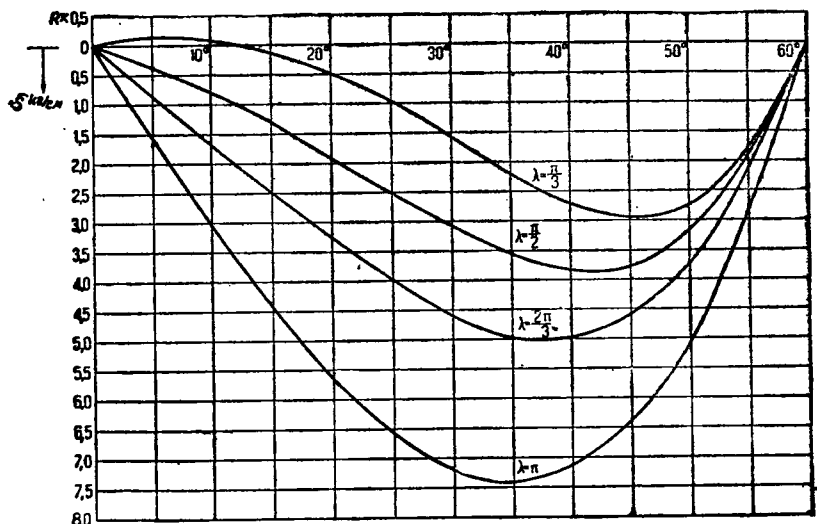


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 60^\circ$

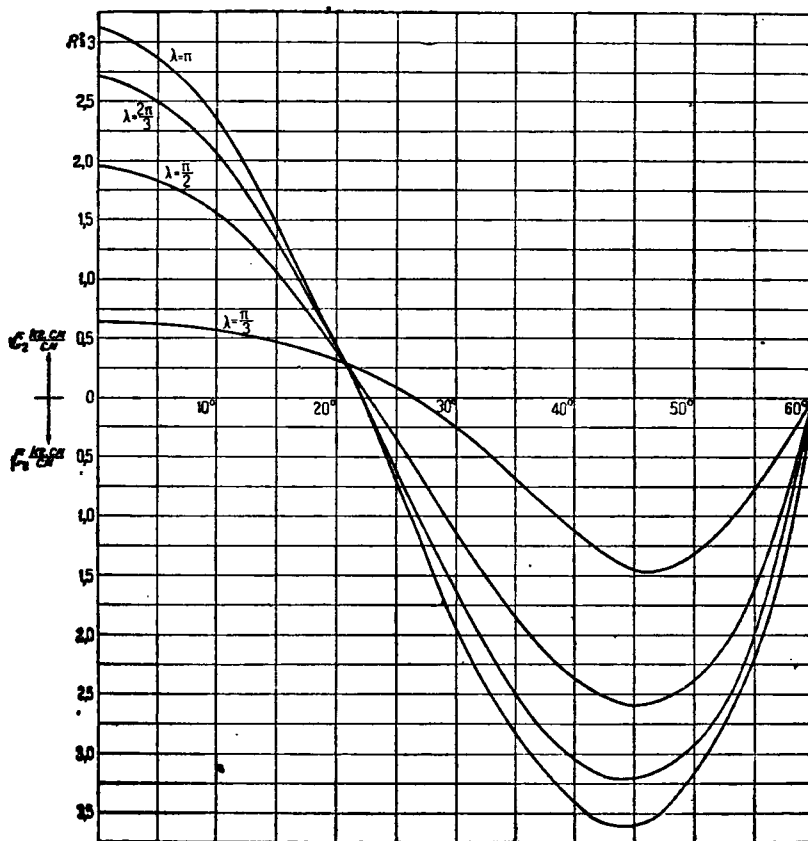


График усилия  $G_1$  для  $\theta_0 = 60^\circ$



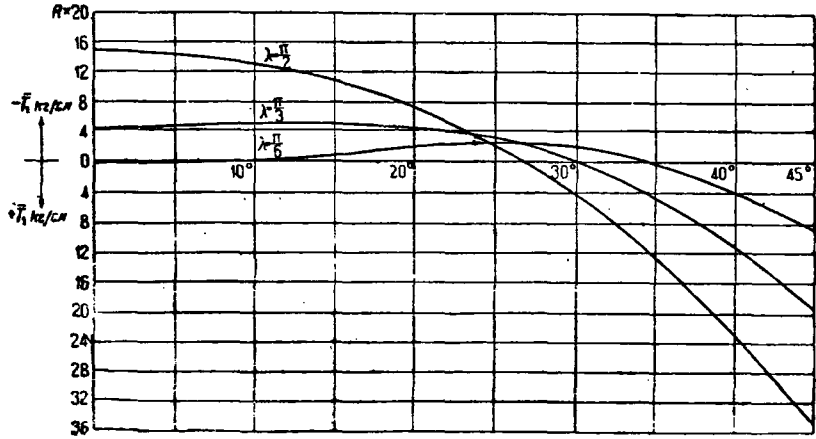


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 45^\circ$

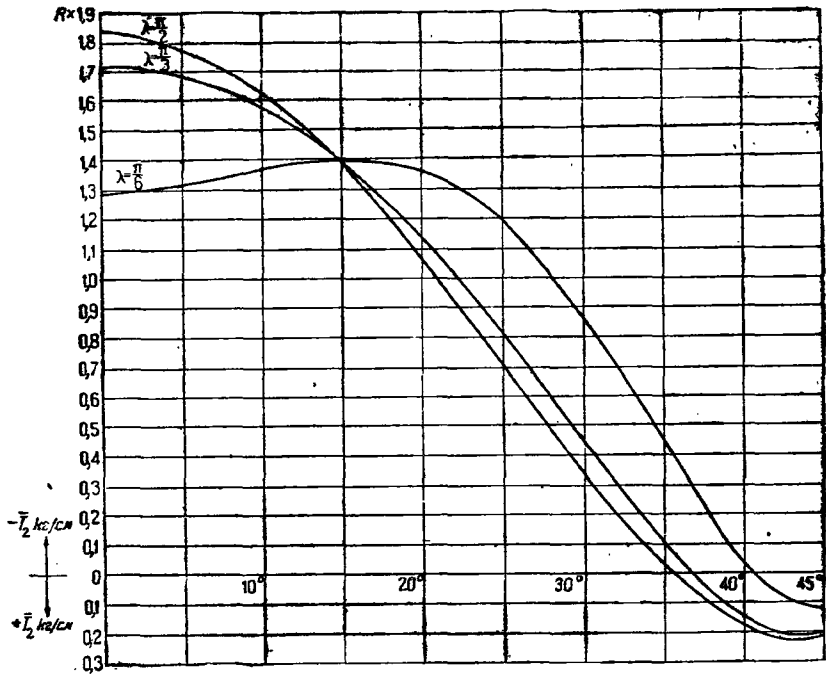


График усилия  $T_2$  для  $\theta_0 = 45^\circ$

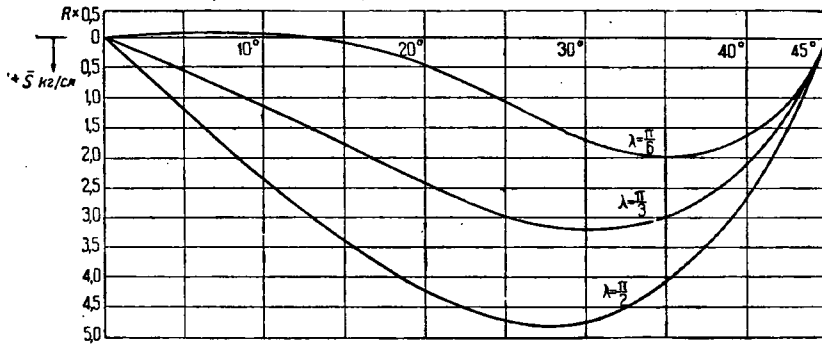


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 45^\circ$

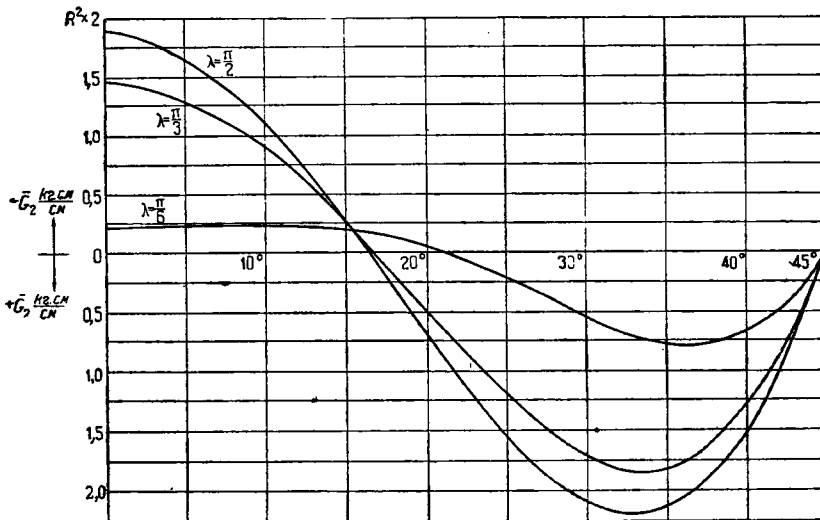


График усилия  $G_2$  для  $\theta_0 = 45^\circ$

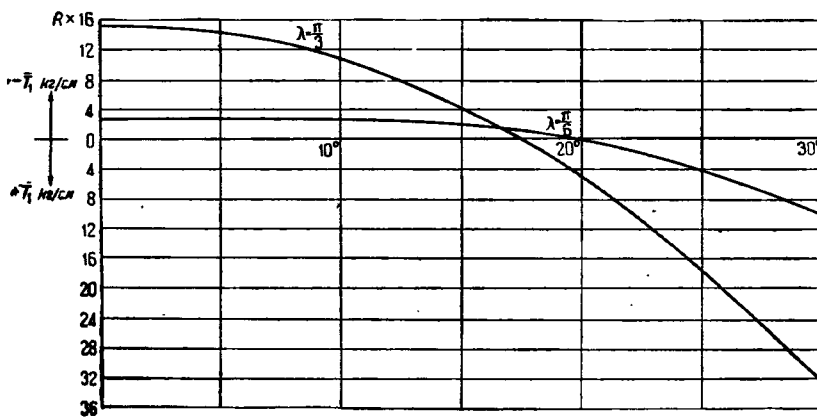


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 30^\circ$

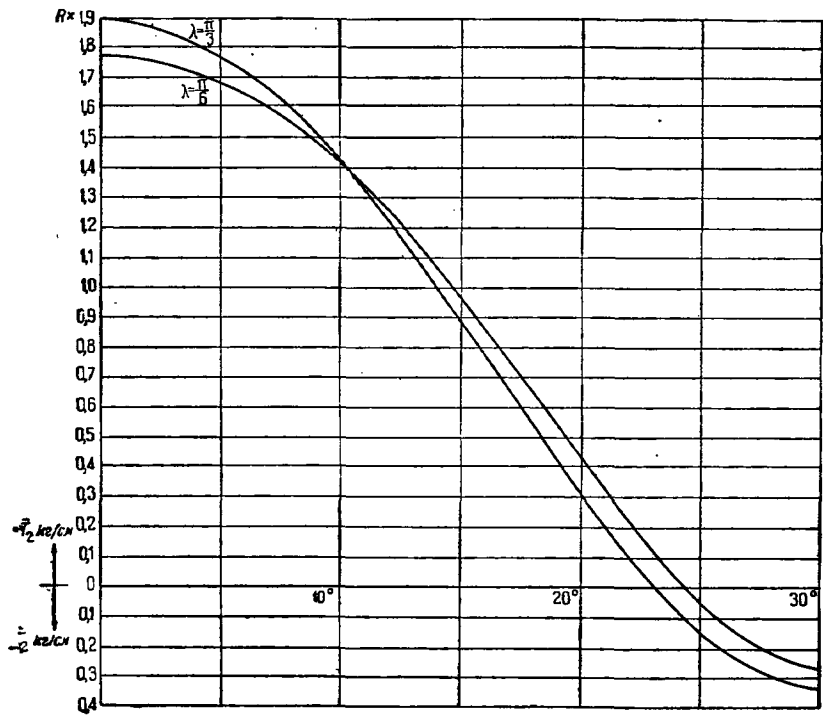


График усилия  $T$ , для  $\theta_0 = 30^\circ$

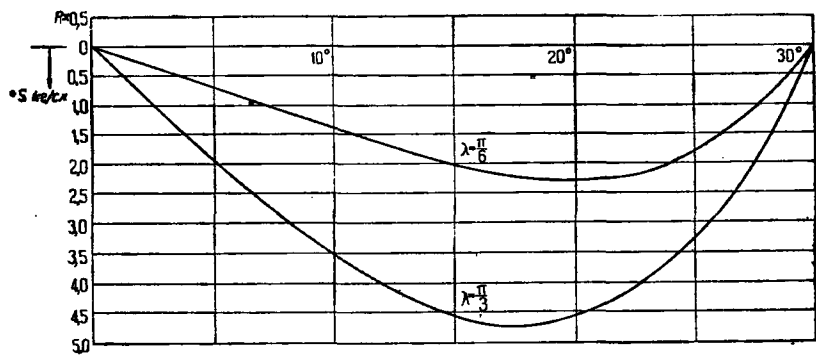


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 30^\circ$

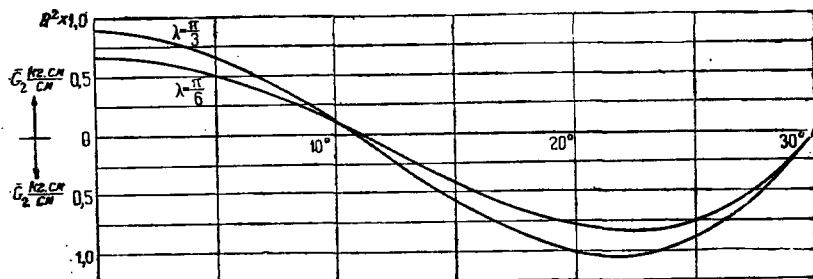


График усилия  $G_2$  для  $\theta_0 = 30^\circ$

II. Графики усилий  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $S$  и  $G_2$  от снеговой нагрузки, изменяющейся по закону  $P = P_0 \cos \theta$   $P_0 = 100 \text{ кг/м}^2$

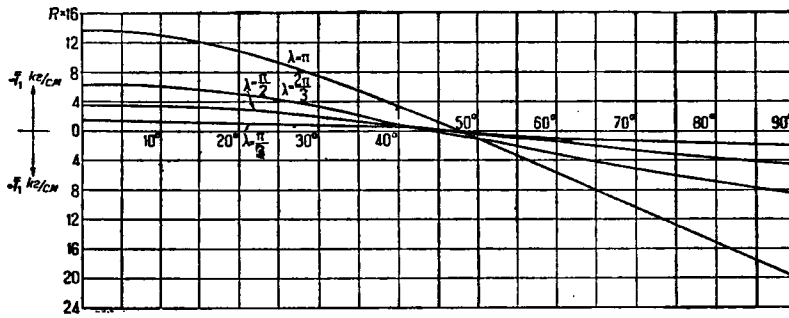


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

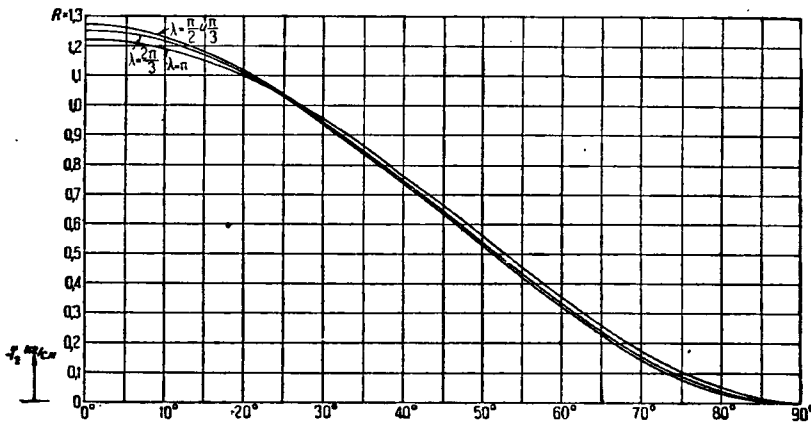


График усилия  $T_2$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

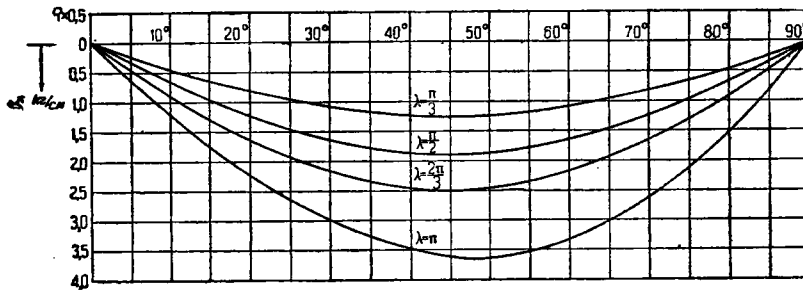


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

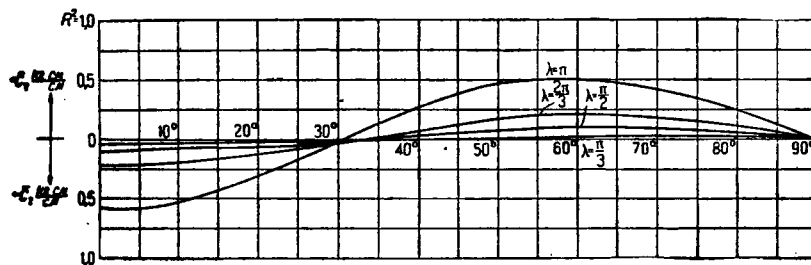


График усилия  $G_2$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

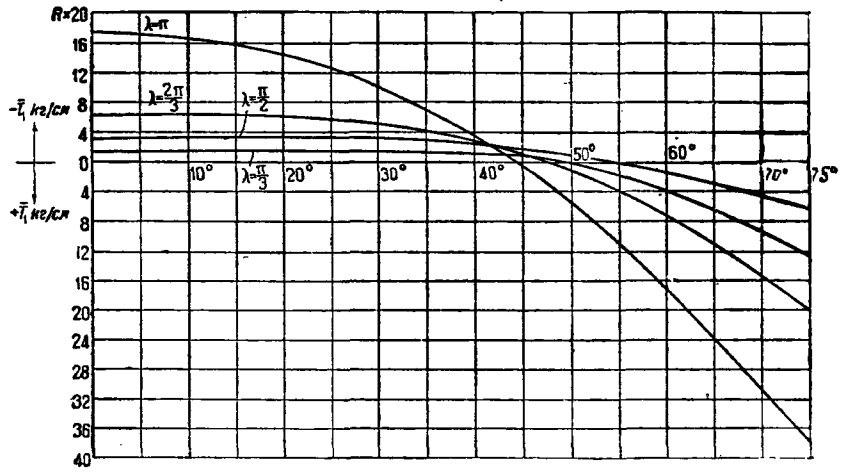


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 75^\circ$

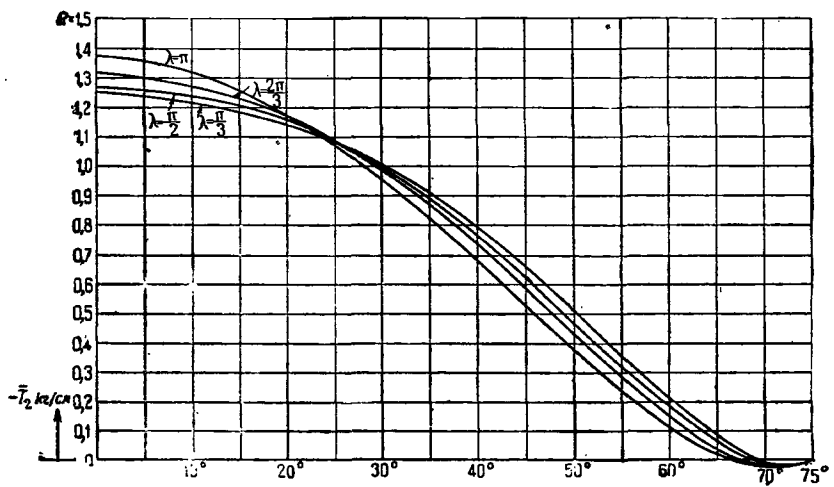


График усилия  $T_2$  для  $\theta_0 = 75^\circ$

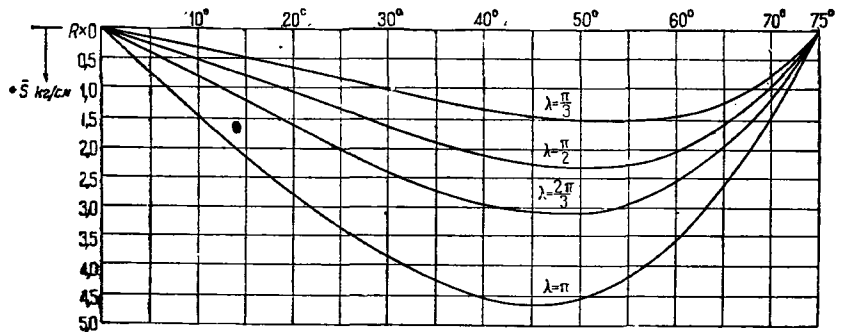


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 75^\circ$

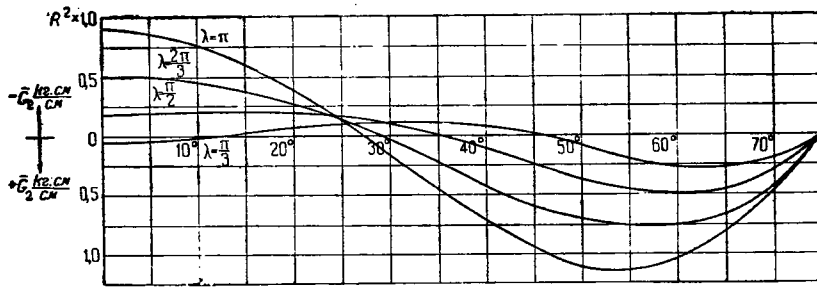


График усилия  $G_2$  для  $\theta_0 = 75^\circ$

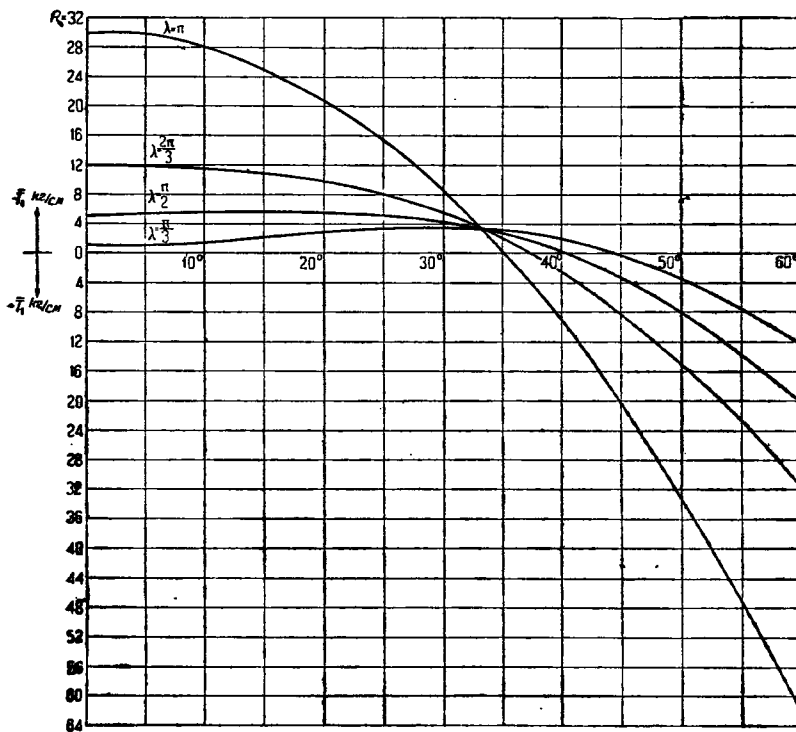


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 60^\circ$

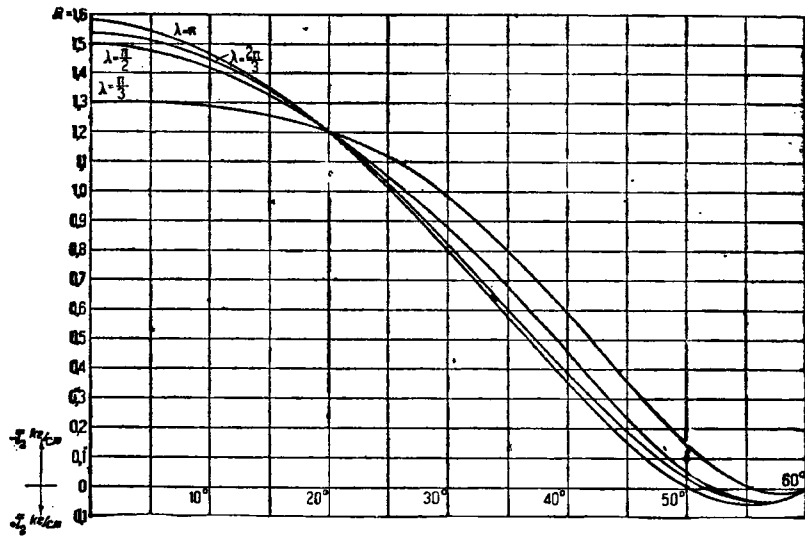


График усилия  $T_2$  для  $\theta_0 = 60^\circ$

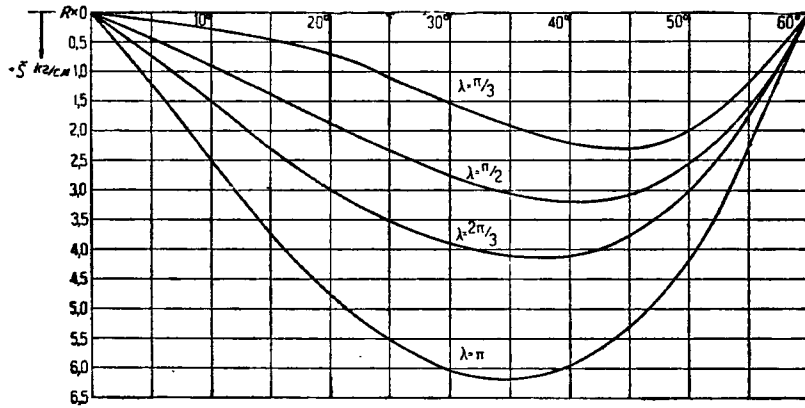


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 60^\circ$

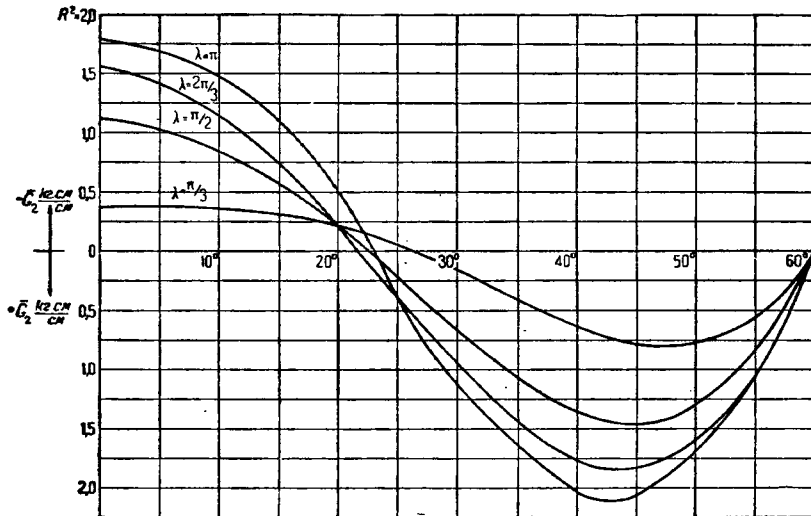


График усилия  $G_2$  для  $\theta_0 = 60^\circ$

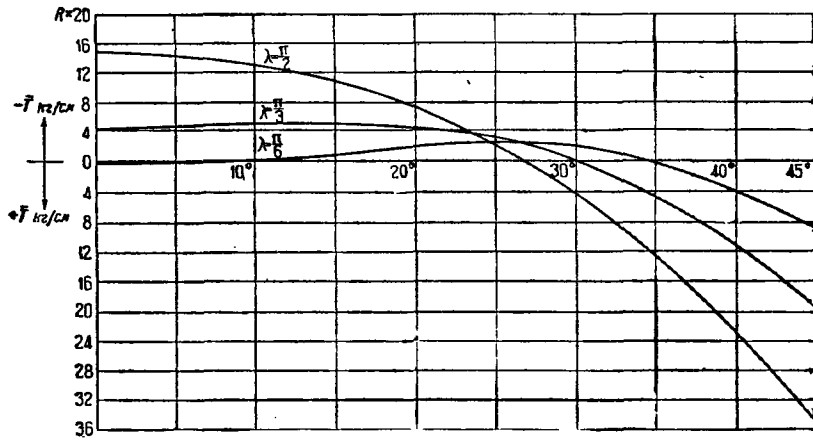


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 45^\circ$

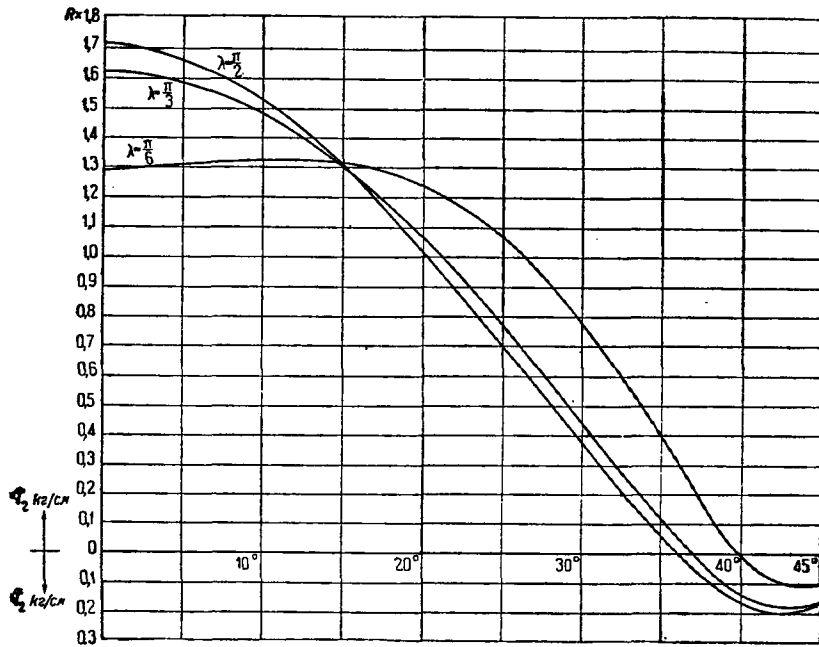


График усилия  $T$ , для  $\theta_0 = 45^\circ$

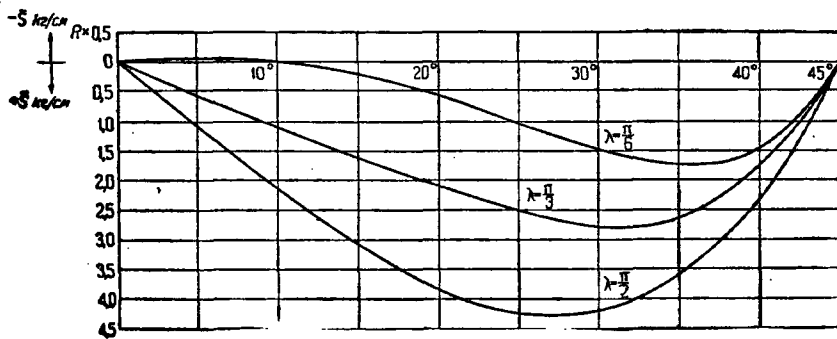


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 45^\circ$



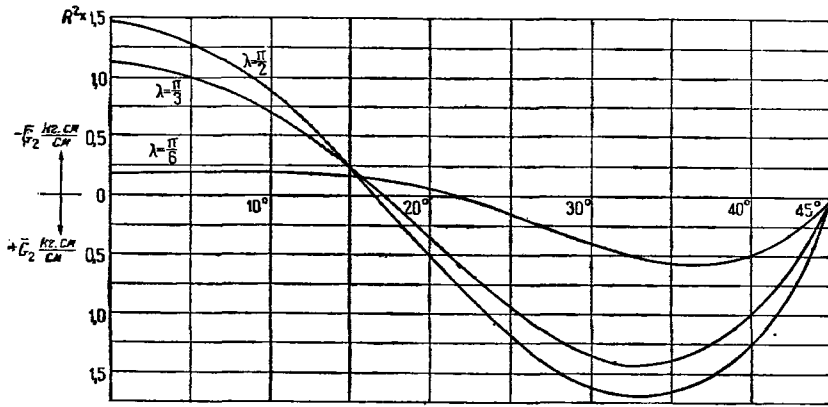


График усилия  $G_2$  для  $\theta_0 = 45^\circ$

Графики усилий  $T_1, T_2, S$  и  $G_2$  от вертикальной нагрузки и равномерно распределенной по борту оболочки

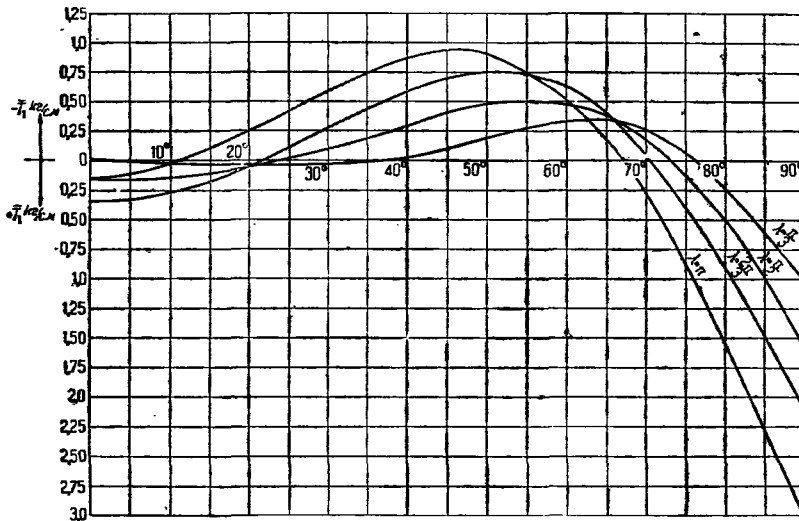


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

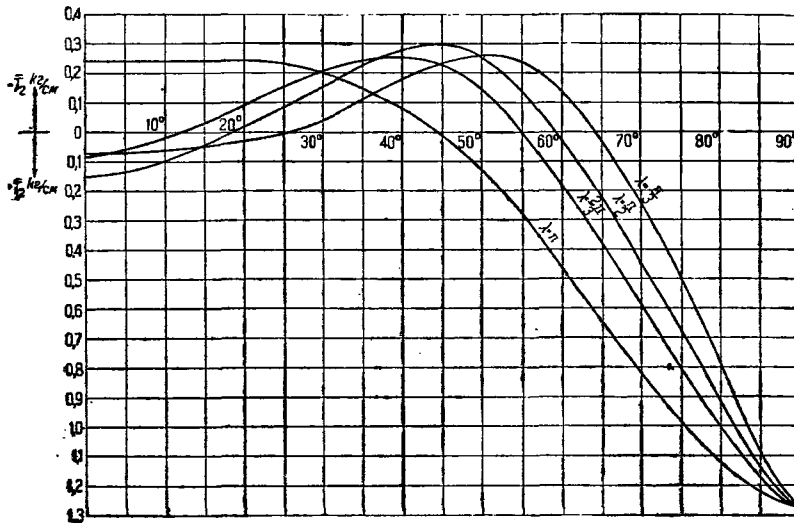


График усилия  $T_2$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

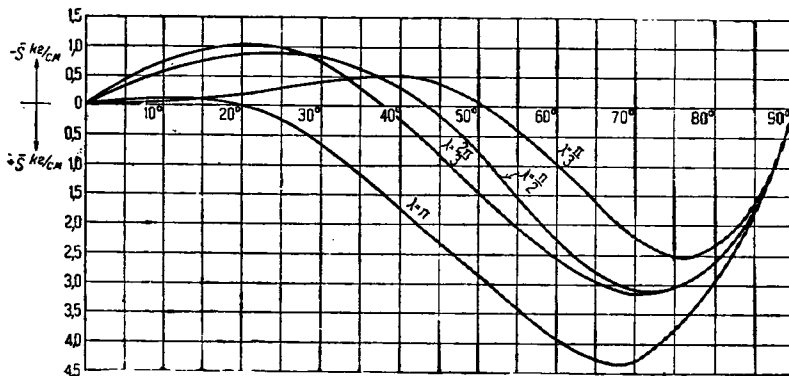


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

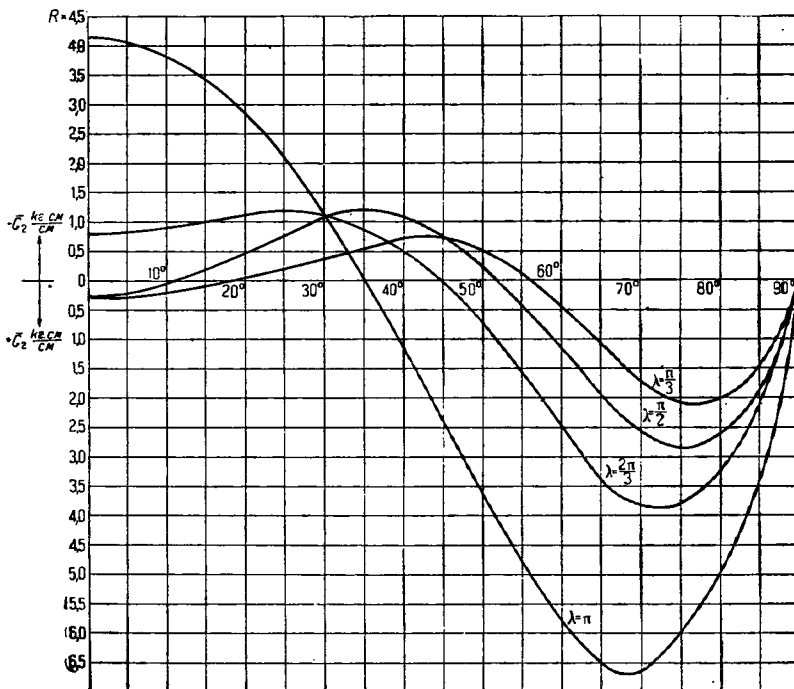


График усилия  $G_2$  для  $\theta_0 = 90^\circ$

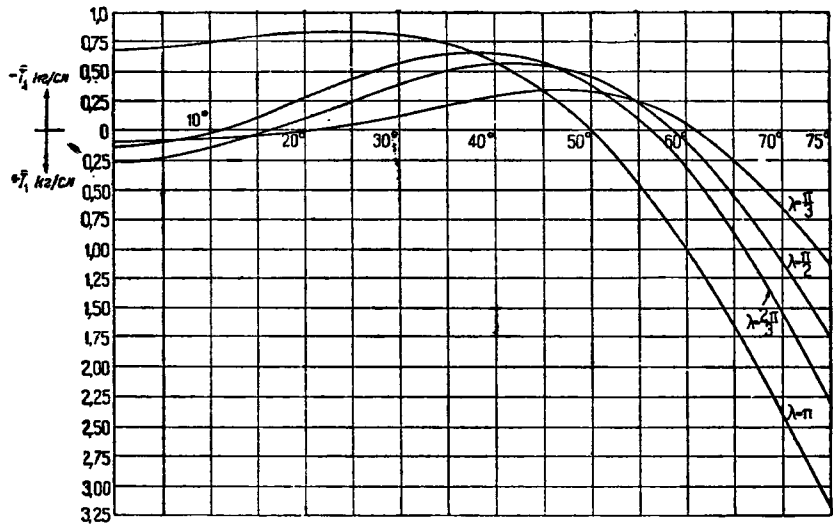


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 75^\circ$

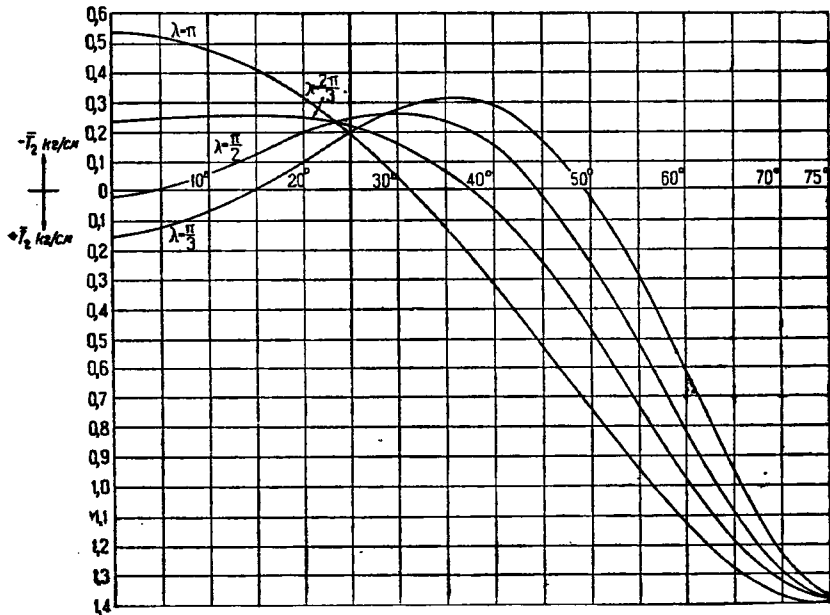


График усилия  $T_2$  для  $\theta_0 = 75^\circ$

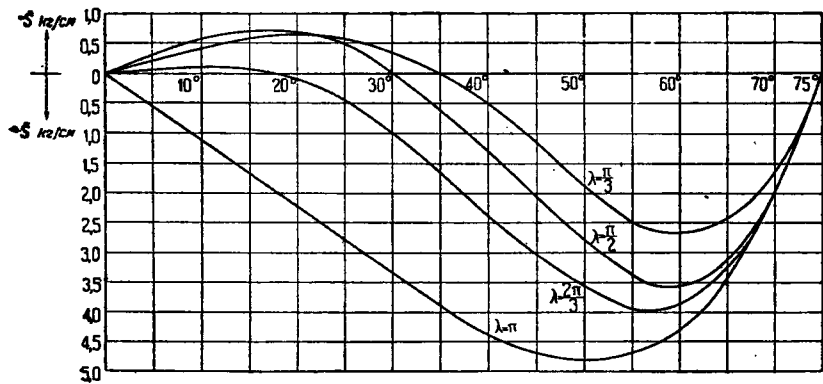


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 75^\circ$

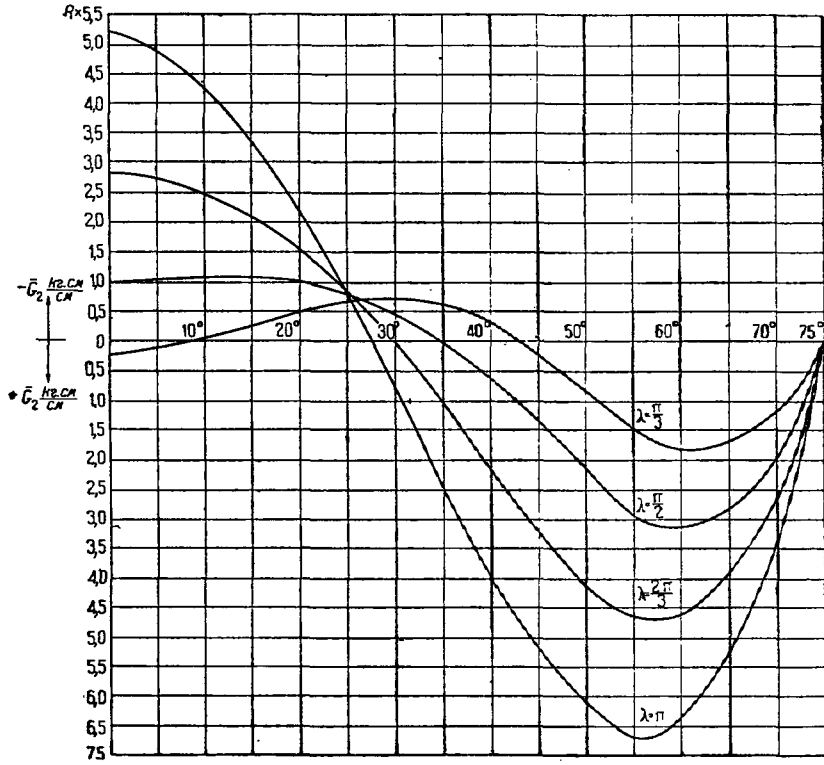


График усилия  $G_2$  для  $\theta_0 = 75^\circ$ .

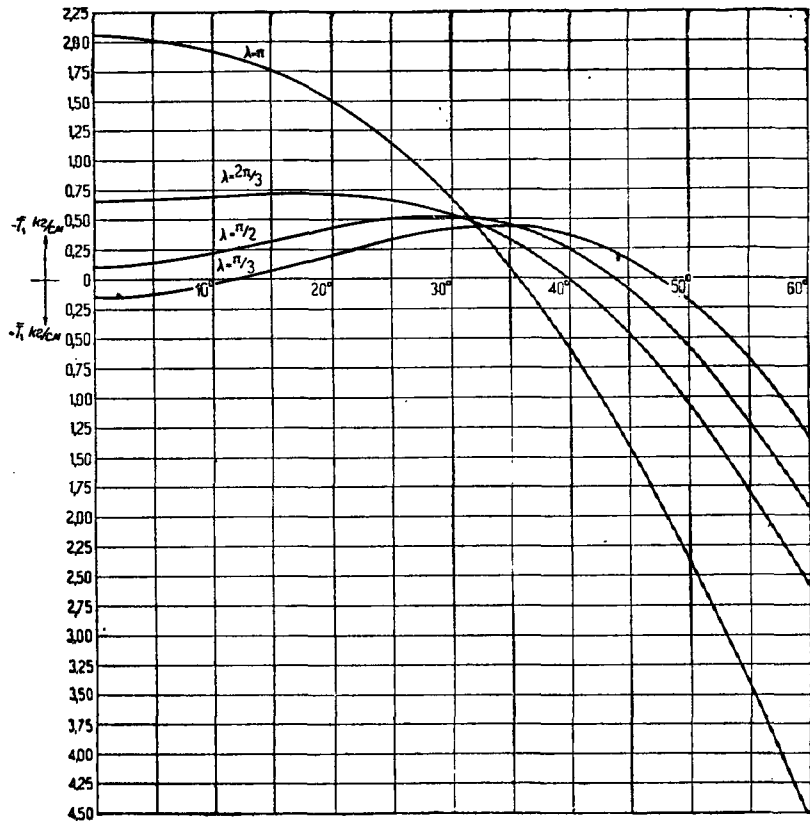


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 60^\circ$ .

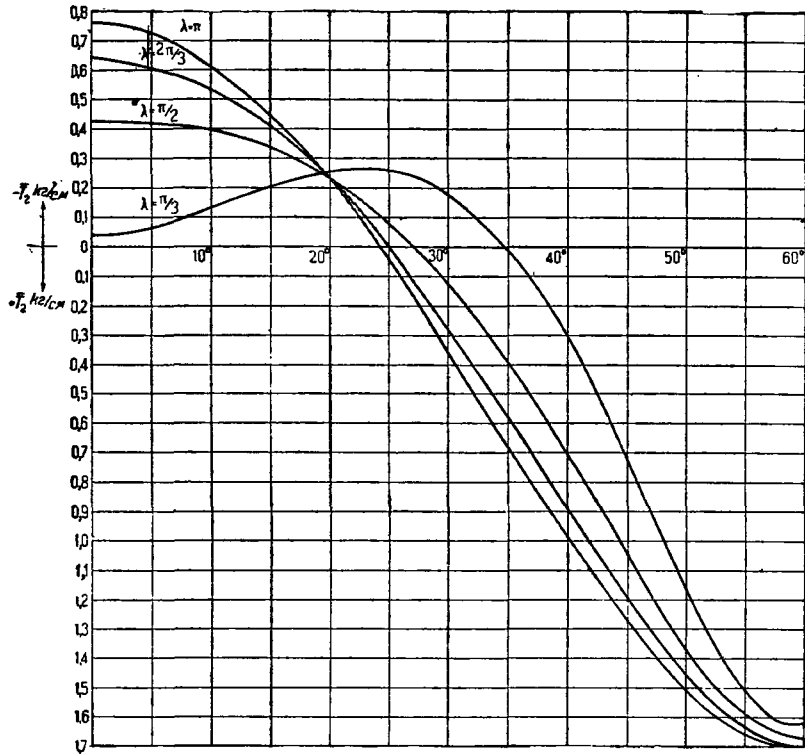


График усилия  $T$ , для  $\theta_0 = 60^\circ$

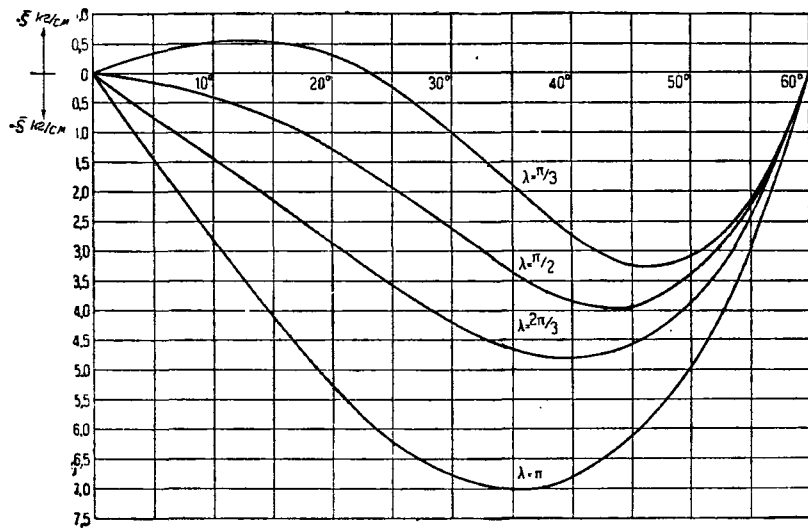


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 60^\circ$

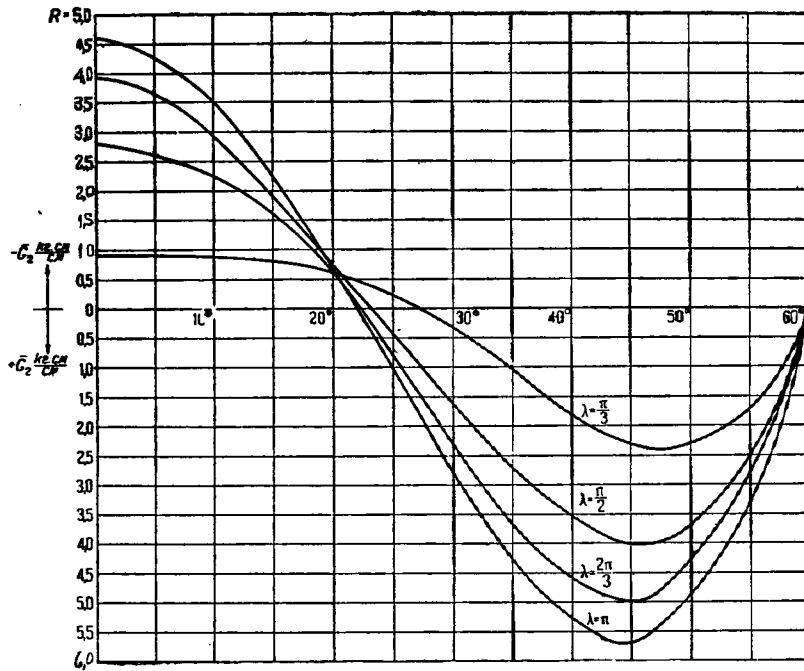


График усилия  $G_2$  для  $\theta_0 = 60^\circ$

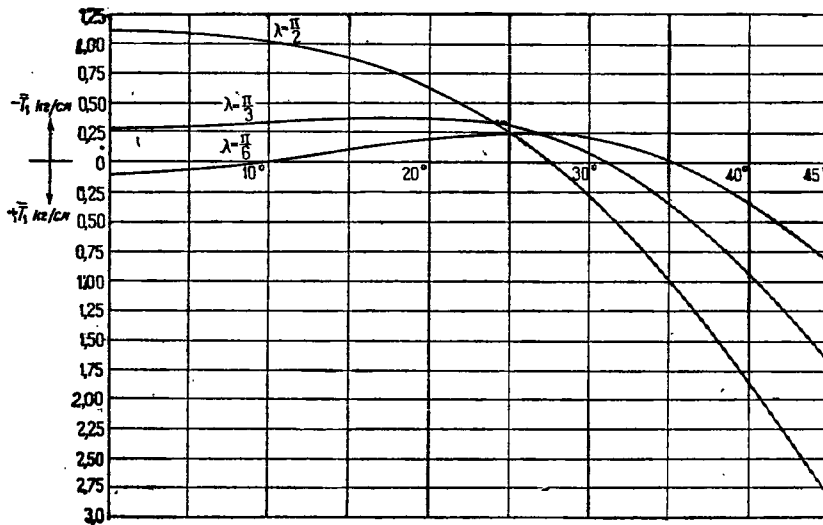


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 45^\circ$

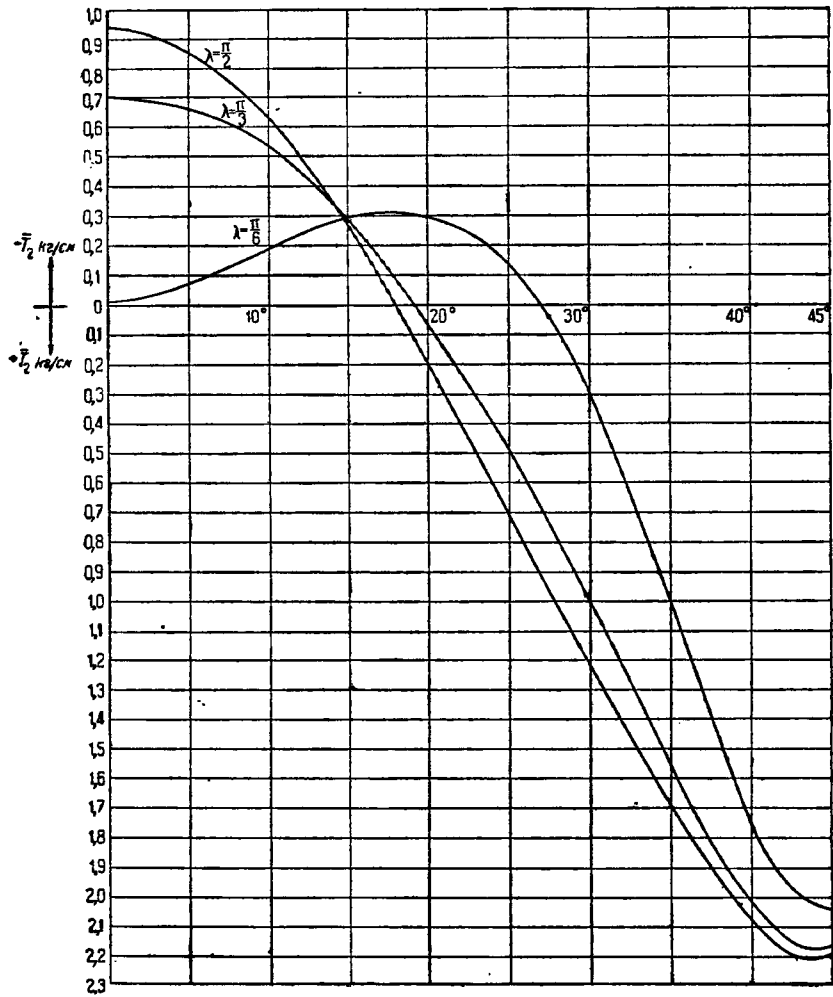


График усилия  $T_2$  для  $\theta_0 = 45^\circ$

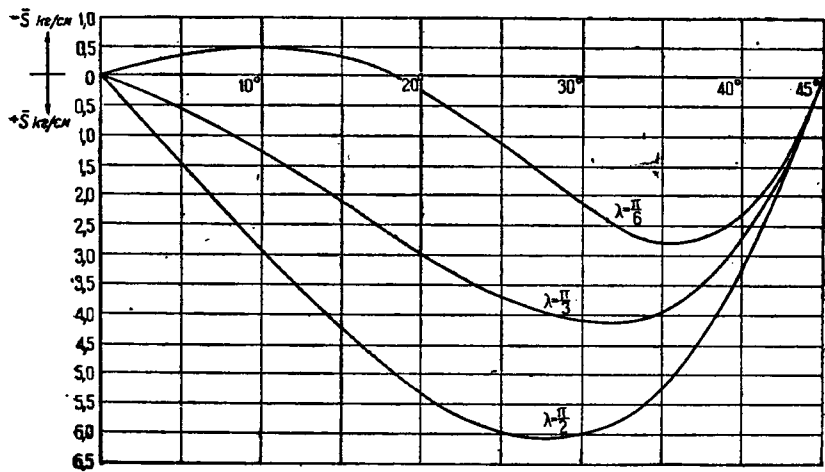


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 45^\circ$

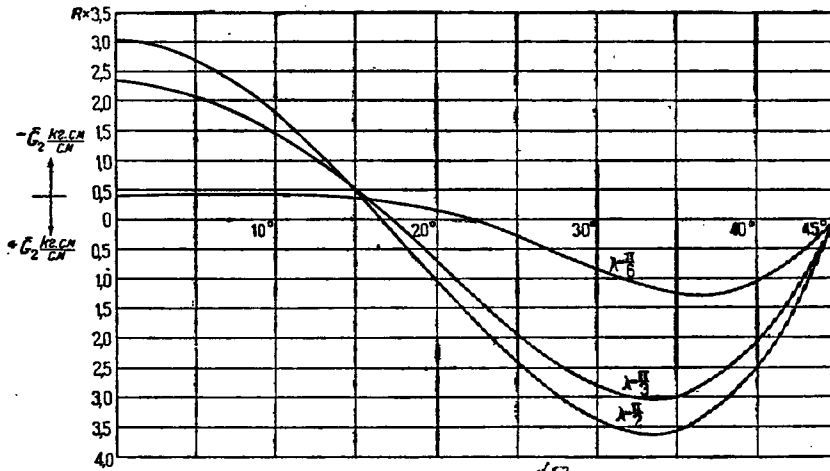


График усилия  $G_2$  для  $\theta_0 = 45^\circ$

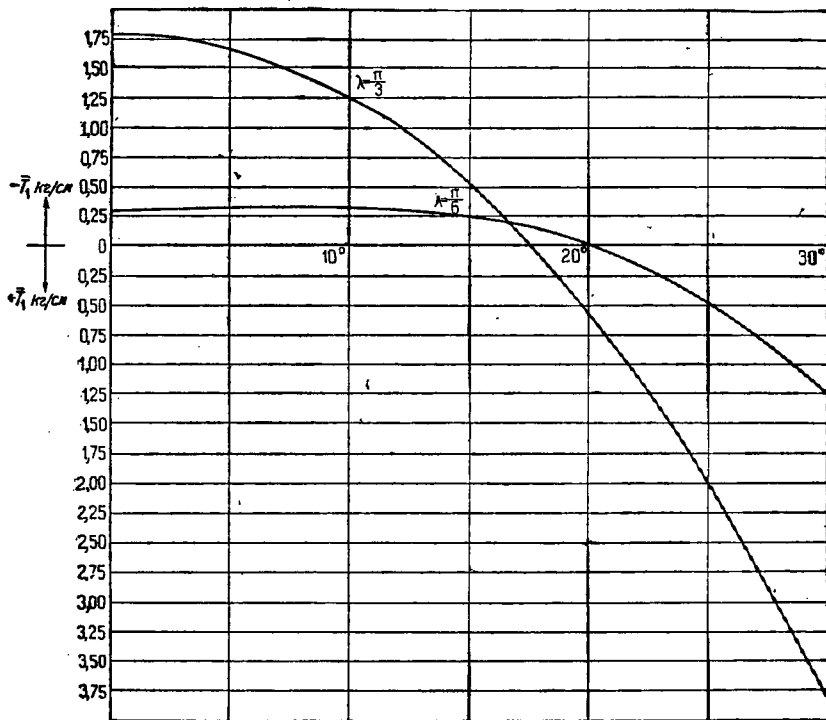


График усилия  $T_1$  для  $\theta_0 = 30^\circ$



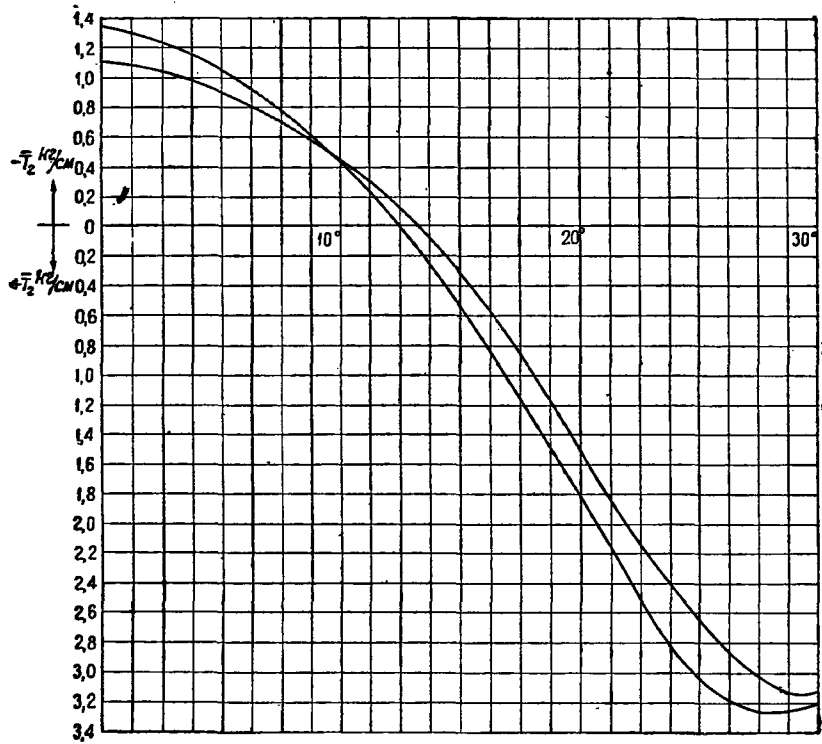


График усилия  $T$ , для  $\theta_0 = 30^\circ$

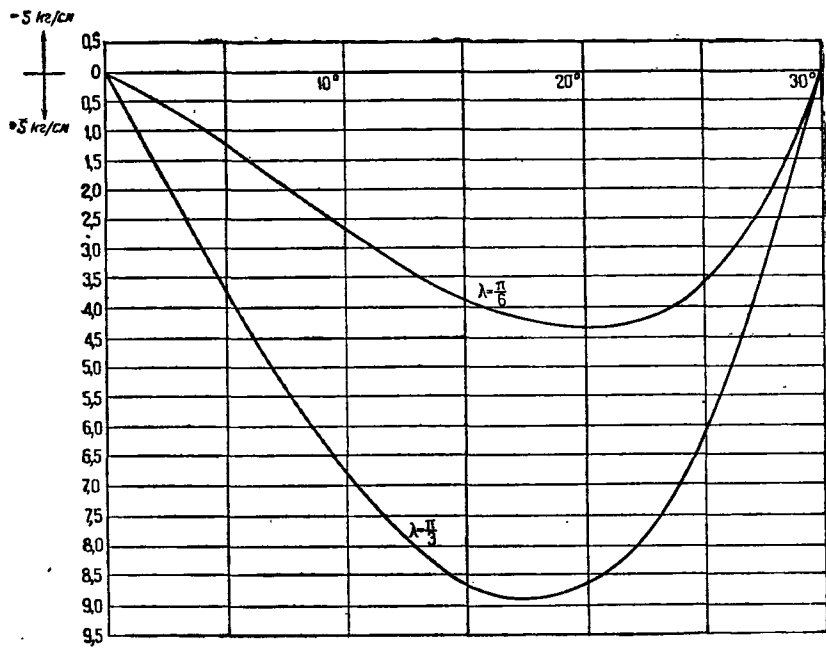
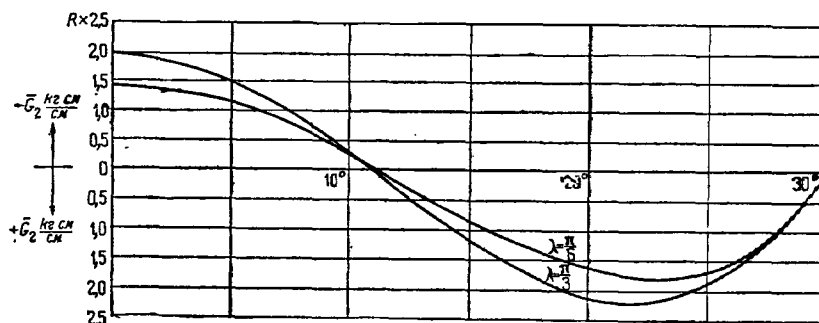


График усилия  $S$  для  $\theta_0 = 30^\circ$

График усилия  $G_2$  для  $\theta_0 = 30^\circ$ 

Илл. К. П. КАШКАРОВ

## VI. КУПОЛЫ

### 1. Общие сведения

Деревянные куполы по сравнению с железобетонными и металлическими имеют следующие преимущества:

- 1) меньшую стоимость;
- 2) простоту возведения;
- 3) минимальный расход металла;
- 4) использование теплозащитных свойств древесины конструкции;
- 5) возможность непосредственного покрытия кровельными материалами и пр.

В настоящее время имеется ряд построенных и спроектированных куполов диаметром до 70 м с подъемами (для круглых планов) от  $\frac{1}{8}$  до  $\frac{1}{2}$  диаметра. Куполы применяются для перекрытия не только круглых, но и многоугольных, эллиптических и квадратных планов; применяются также неполные куполы и комбинация куполов с цилиндрическими оболочками.

В зависимости от типа конструкции различают куполы:

- 1) плоскостные ребристые (пространственная работа элементов не используется);
- 2) сетчатые;
- 3) тонкостенные оболочки вращения;
- 4) ребристые оболочки вращения.

### 2. Плоскостные ребристые куполы

Плоскостные ребристые куполы состоят из радиально поставленных в плане трехшарнирных арок, по которым устраивается кровля. Такая конструкция куполов может быть легкой и четко рассчитана при несимметричных и сосредоточенных нагрузках и позволяет:

- 1) использовать в качестве монтажного скелета арки купола, возводимые без коренных лесов, только при помощи центральной мачты и копров;
- 2) делать световые и дверные проемы в любом количестве;
- 3) проектировать купол граненым, что упрощает покрытие его кровельным материалом;
- 4) сооружать неполные куполы.

Из построенных ребристых куполов отметим купол цирка в Саратове диаметром  $D = 46$  м (1930 г.) (фиг. 1) и купол в Иванове (1931 — 1932 гг.) диаметром  $D = 50$  м.

Максимальная высота поперечного сечения арок купола в Иванове  $h = 1,3$  м, что составляет  $\frac{1,3}{50} = \frac{1}{38} D$ .

В куполе Саратовского цирка  $h = 1,0$  м, что составляет  $\frac{1}{46} D$ .

Несущие арки указанных куполов имеют решетку из двойных перекрещивающихся раскосов и металлических тижей. Применение такой решетки помимо большого расхода металла требует тщательного и постоянного ухода за арками после возведения сооружения.

Пример 1. Ребристый купол цирка-театра в Баку

#### а) Конструкции

Примером плоскостного ребристого купола с арками гвоздевой конструкции может служить купол цирка-театра в Баку<sup>1</sup>. Диаметр купола  $D = 67$  м; высота  $H = 27$  м.

Форма купола залана архитектурными требованиями. Основные арки А (фиг. 2 и 3) начинаются со второго этажа здания; расстояние между ними по линии опор — 8 м.

Сцена театра нарушает симметрию конструкции; против сцены радиальные в плане арки А заменены поперечными, которые опираются на две радиальные укороченные арки В, передающие опорные реакции на устой портала сцены.

Основные арки А опираются на железобетонное перекрытие первого этажа, воспринимающее распор купола. В нижней части купола имеются многочисленные отверстия для входов в зрительный зал.

Арки А и В имеют серповидную форму с максимальной высотой сечения  $h = 1,5$  м, т. е.:

$$\frac{h}{D} = \frac{1,5}{67} = \frac{1}{45};$$

в опорных частях  $h = 0,5$  м. Сечение арок показано на фиг. 4 и 5.

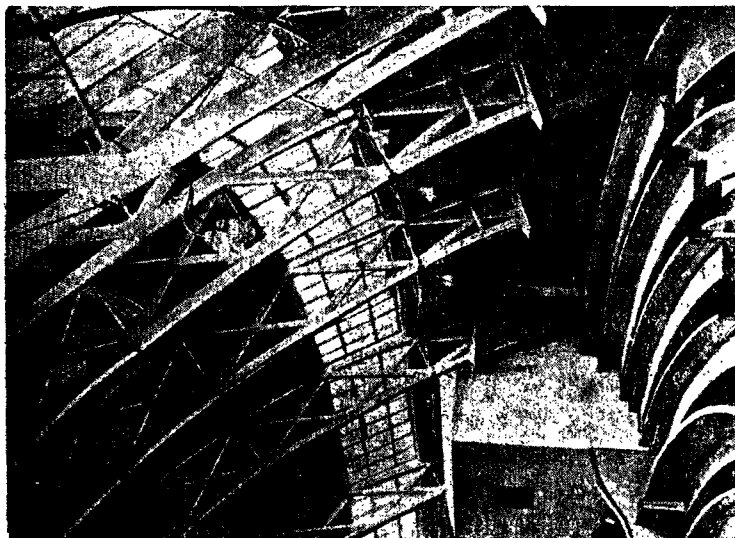
Устойчивость верхнего пояса из плоскости арки обеспечивается прогонами кровли, расположенными в узлах арки и между ними.

<sup>1</sup> Разработан в Машинстройпроекте инж. Кашкаровым К. П.

Нижний пояс закреплен решетчатыми поясами, идущими через 4 панели, и подносами к прогонам в промежутках между решетчатыми поясами.

В нижней и верхней опорных частях арки решетка переходит в две сплошные перекрестные стевки.

Арка *Б* по очертанию составляет часть арки *А* с изменением в опорной части, примыкающей к устью портала сцены. Радиальные арки *А* и *Б* опираются в верхней части купола на верхнее кольцо.



Фиг. 1. Купол в Саратове, внутренний вид

Верхнее кольцо сконструировано в виде жесткого диска  $D_1 = 3,0$  м, составленного из 10 перекрестных настилов толщиной в 5 см каждый.

В толще кольца имеются пустоты (осушающие продухи) в разных слоях и направлениях, соединенные с наружным воздухом (фиг. 6).

#### б) Расчет

Арки и кровля купола при расчете рассматриваются как отдельные элементы, не связанные в одну целую пространственную конструкцию. Фактически в выполненной конструкции арки разгружаются благодаря участию кровли в пространственной работе всего сооружения.

Арки рассчитывались как трехшарнирные на усилия от собственного веса и ветровой нагрузки<sup>1</sup>. Для упрощения расчета арка разбивалась на 10 частей и распределенные нагрузки от собственного веса и ветра заменялись сосредоточенными силами. По кривой давления определялись  $M$ ,  $N$  и  $Q$ , отнесенные к оси арки.

Усилия  $N_m$  в поясах от изгибающего момента  $M$  определялись по формуле:

$$N_m = \pm \frac{M}{e}, \quad (1)$$

где  $e$  — расстояние между центрами сечения поясов.

<sup>1</sup> Собственный вес плоскостных ребристых куполов пролетом от 20 до 50 м составляет 50—75 кг/м<sup>2</sup> поверхности купола (без веса кровельного материала и утеплителя).

Полная нормальная сила  $N$  в поясах:

$$N = \pm N_m + \frac{N_-}{2}, \quad (2)$$

где  $N_-$  — нормальное сжимающее осевое усилие в арке. Напряжения в поясах проверялись по формулам: между узлами арки:

$$n_- = \frac{N}{F\varphi} + \frac{Nf}{W} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{[n_-]}{[n_m]}; \quad (3)$$

в узлах арки:

$$n_- = \frac{N}{F} + \frac{Nf}{W} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{[n_-]}{[n_m]}, \quad (4)$$

где  $f$  — стрелка кривизны пояса в пределах одной панели;

$\varphi$  — коэффициент продольного изгиба в плоскости арки.

Момент сопротивления  $W$  поясов ввиду наличия неперекрестных стыков досок принимался с учетом ослабления одной верхней доски среднего пакета.

Сдвигающие усилия в поясах определялись от продольного изгиба и местного поперечного изгиба от кривизны пояса.

Кроме гвоздей, погашающих сдвиги, поставлены дополнительные гвозди для перекрытия стыков в растянутых частях верхнего и нижнего поясов.

Нижний пояс проверяется на продольный изгиб из плоскости арки на длине, равной расстоянию между поперечными связями жесткости.

Усилия в подкосах решетки определялись по формуле:

$$D = \frac{Q}{\sin 45^\circ}. \quad (5)$$

Расчет арки *Б* производился в предположении шарнирной неподвижной опоры на консоли колонны устья портала и подвижной — в верхнем кольце (фиг. 2). Арка *Б* нагружена сосредоточенными силами от опорных давлений поперечных арок. Последние раскладываются на вертикальные и горизонтальные силы; горизонтальные силы дают составляющие по направлению решетчатых поясов и по направлению арки *Б*, которая передает эти составляющие порталу сцены. Составляющая по направлению решетчатых поясов воспринимается кровлей купола.

Горизонтальные силы передаются на арку *Б* через консоли на верхнем поясе арки.

Поперечные арки — двухшарнирные, имеют максимальный пролет 22,64 м и высоту сечения  $h = 0,6$  м.

Арки *Б* передают на верхнее кольцо значительные опорные давления, нарушающие равновесие кольца.

В расчете принято:

$$H_B = 14\,370 \text{ кг.}$$

Смещающая горизонтальная сила является проекцией всех активных сил на ось симметрии

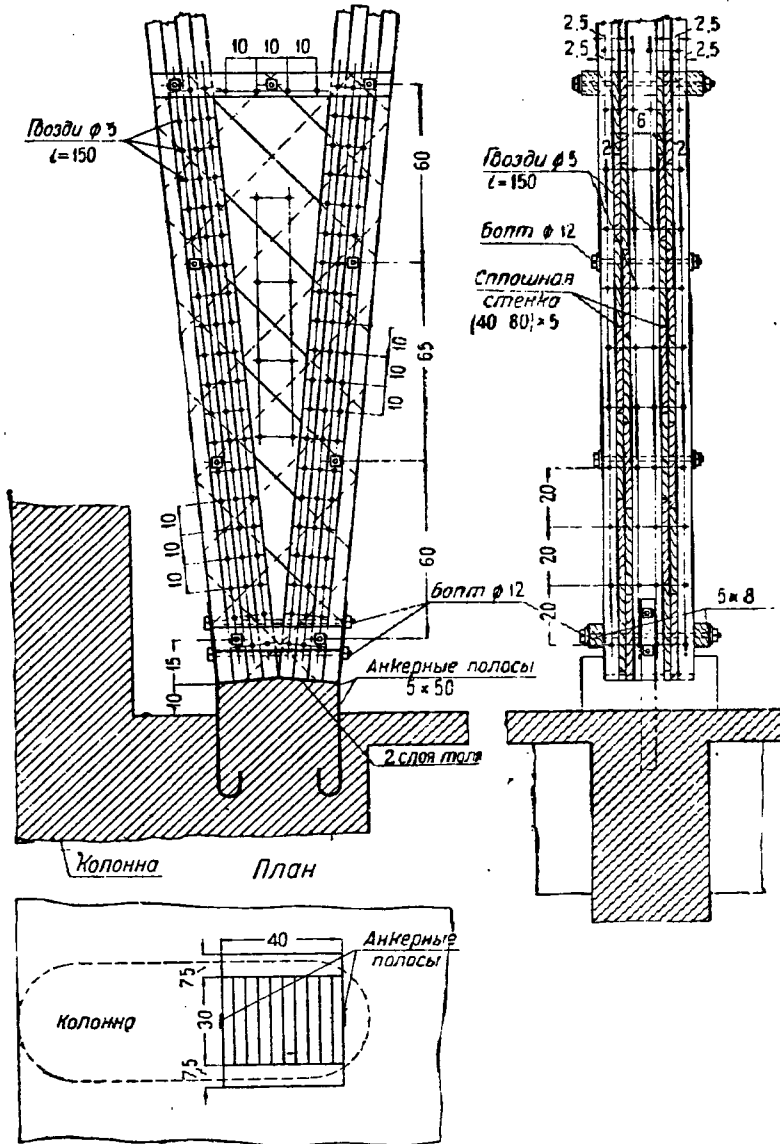




купола и равна 5 820 кг. Эта сила вызывает в основных арках противоположной половины кольца опорные реакции, которые приняты распределенными по аркам по закону  $\cos \alpha$ , где  $\alpha$  — центральный угол между направлением каждой арки и осью симметрии купола в плане (фиг. 3).

Кровля начинается с бортовых двутавровых балок, идущих сплошным поясом по всем аркам  $\Delta$  (фиг. 3).

Кровля устроена двух типов. Кровля первого типа (в нижней части купола) состоит из прогонов сечением  $40 \times 12$  см, расположенных в узлах



Фиг. 5. Опорная часть арки (к фиг. 2 и 3)

### в) Кровля

Кровля купола между арками имеет только меридиональную кривизну, благодаря чему купол приобретает граненую форму.

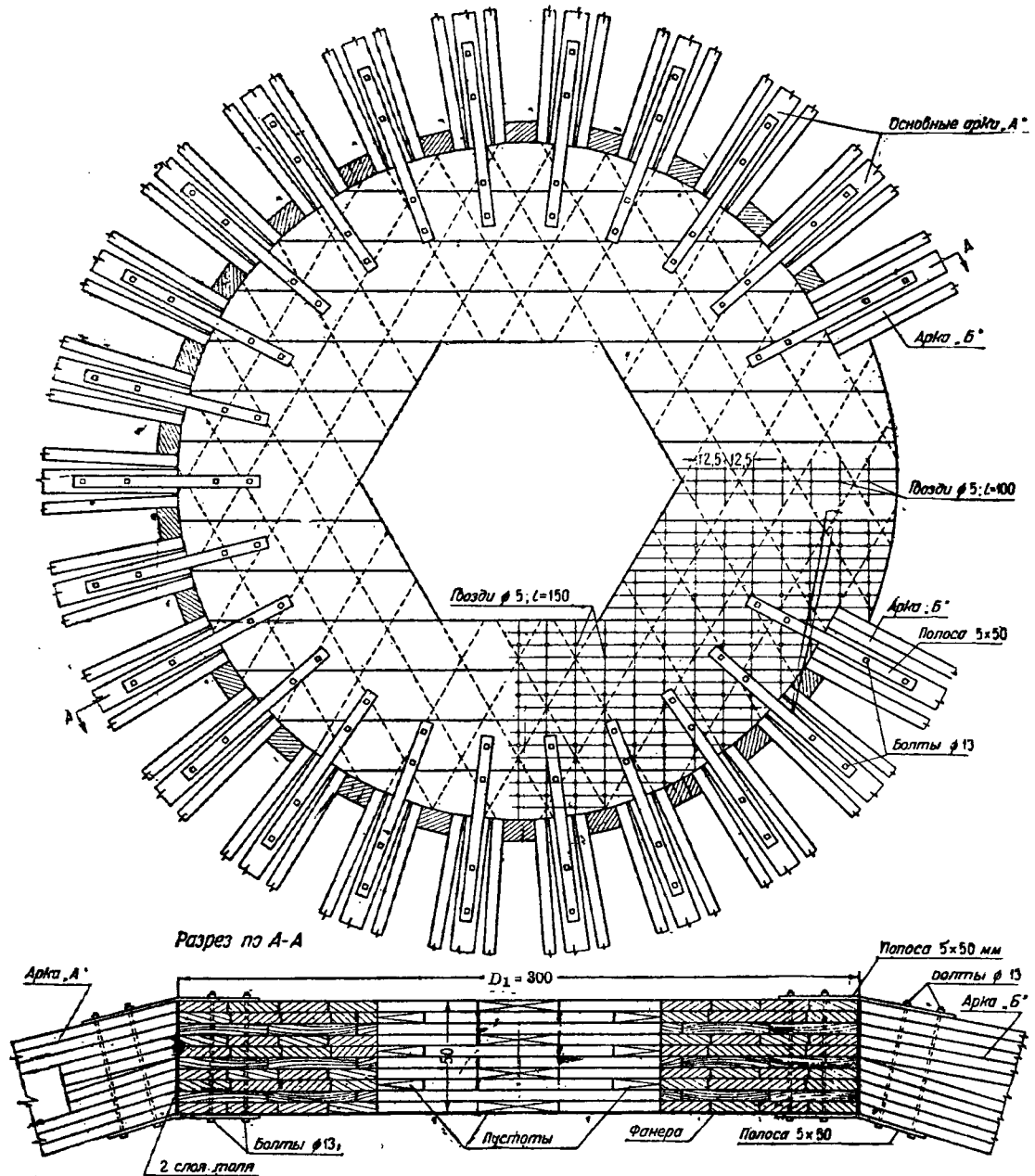
Кровельный материал — рубероид или железо. Кровля состоит из прогонов и нижней и верхней обшивок. По верхней опалубке (обшивке) нашивается носой настил толщиной 1,6—1,9 см, придающий куполу жесткость. Над арками доски носого настила перегибаются, не прерываясь

и между узлами арок, и верхней и нижней обшивок из досок толщиной 2,5 см, направленных перпендикулярно к прогонам. Гвозди, прикрепляющие обшивку к прогонам, рассчитаны на сдвигающие усилия. Опорами этой конструкции служат решетчатые пояса и прогоны, имеющие подкосы к нижнему поясу арки. Расстояние между этими опорами не превышает 3 м (две панели арки). Таким образом кровля является нерезной многопролетной конструкцией цилиндрической формы.

Кровля типа 2 начинается выше при сокращении расстояния между арками до 5 м. Прогонны расположены также в узлах и между ними и работают как простые балки. Верхняя и нижняя

Пароизоляцией служит гудронированная фанера.

Над арками под прогонами укладываются два слоя толя. Вентиляция кровли осуществляется

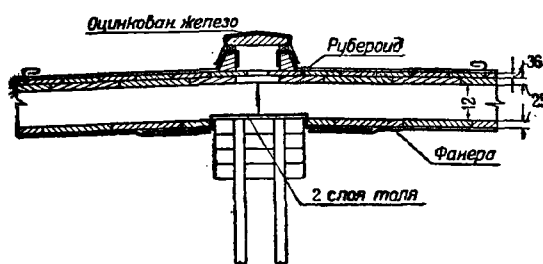


Фиг. 6. Верхнее кольцо купола (к Фиг. 2 и 3)

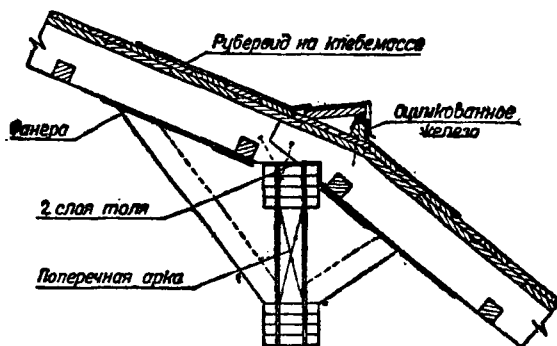
обшивки являются продолжением досок рабочих обшивок кровли первого типа.

В секторах кровли, примыкающих к аркам Б, делается двойной косою настил по верхней опалубке, чем создается большая жесткость, необходимая для восприятия кровлей распоров от поперечных арок.

через канал, устроенный по всей арке и покрытый оцинкованным железом (фиг. 7, стр. 589). В косом настиле имеются выходы в канал через 40—50 см. Канал разграничивается поперечными перегородками через 100 см.осушающий продух на части купола, находящейся против сцены, показан на фиг. 8, стр. 589.



Фиг. 7. Осушающий продух на арке А (к фиг. 2 и 3)



Фиг. 8. Осушающий продух на поперечных арках купола (к фиг. 2 и 3)

### 3. Сетчатые куполы

Сетчатый купол представляет собой поверхность вращения с ромбовидной сеткой, составленной из отдельных косяков. Стандартны при этом только косяки каждого отдельного пояса. Возможны три варианта конструкции сетки купола: 1) из косяков переменной длины, уменьшающейся по высоте купола при постоянном угле встречи косяков, 2) из косяков постоянной длины при переменном угле встречи косяков, 3) из косяков с переменной длиной косяков и переменным углом встречи их.

Расчет сетчатого купола может быть выполнен по теории оболочек вращения<sup>1</sup>. Кольцевые усилия воспринимаются кольцевой обшивкой купола, меридиональные — косяками.

Расчет косяков и конструкция узлов аналогичны таковым для кружально-сетчатого свода<sup>2</sup>.

Положительными свойствами сетчатого купола являются:

1) сборность конструкции и портативность элементов;

2) светопрозрачность.

Недостатком — нестандартность элементов, вследствие чего сильно усложняются изготовление и сборка купола.

### 4. Тонкостенные оболочки вращения

#### 1) Общая характеристика

Стремление к использованию в работе конструкции всех образующих ее элементов привело к созданию купола в виде тонкостенной оболочки

вращения, расчлененной по меридиональным и кольцевым направлениям в соответствии с направлением основных усилий.

Положительными свойствами куполов-оболочек являются:

1) минимальный расход дерева и металла;

2) возможность использования низкосортных материалов;

3) хорошее использование теплозащитных свойств рабочей древесины.

Отрицательными свойствами являются:

1) необходимость (при возведении) коренных лесов, так как несоблюдение формы вращения может повести в дальнейшем к потере устойчивости оболочки;

2) понижение надежности конструкции при устройстве вырезов и необходимость специального укрепления ее в этом случае.

Область применения куполов-оболочек ограничивается диаметром 30—40 м.

Куполы-оболочки применены на Сталиногорском химкомбинате над зданием газгольдеров пролетом 33 и 28 м; опорные кольца расположены на уровне 33 м от земли; район подвержен сильным и частым ветрам; на Московских хлебозаводах № 7 и 8 — над круглыми зданиями котельных пролетом 19,5 м.

#### 2) Конструкция

Купол-оболочка состоит из ребер, воспринимающих меридиональные усилия  $T_1$ , и кольцевых настилов по ребрам, работающих на кольцевые силы  $T_2$ . В небольших куполах ребра состоят из трех-четырёх слоев досок, изгибаемых по меридиональному сечению и сшитых гвоздями или в виде арок Делорма. Отношение высоты сечения ребра к диаметру для спроектированных куполов составляет:

$$\frac{h}{D} = \frac{1}{200} - \frac{1}{270}$$

Ребра располагаются через 1,0—1,5 м по опорному кольцу купола. Кольцевые настилы из досок 2,0—2,5 см делаются двухслойными для возможности перекрытия стыков в растянутых зонах. Растягивающие кольцевые усилия передаются через гвозди; прикрепление кольцевых настилов к ребрам рассчитывается на приращение меридиональных усилий в ребрах. На кольцевом настиле нашивается однослойный косой настил для восприятия сдвигающих усилий в куполе. Для лучшей усадки досок кольцевого валила на сферическую поверхность оболочки необходимо применять доски длиной 3—4 м и шириной не более 16 см.

В вершине купола меридиональные усилия передаются на верхнее деревянное кольцо, диаметр которого определяется из условия размещения ребер. Нижнее распорное кольцо выполняется из железобетона или дерева.

Форма оболочки может быть или сферической или иной поверхности вращения. Подъем купола должен быть не менее  $\frac{1}{6}$  диаметра.

#### 3) Расчет

Расчет тонкостенных, а также ребристых оболочек производится обычно по безмоментной теории. Основные расчетные усилия в сферической оболочке вращения могут быть определены по нижеприводимым формулам.

<sup>1</sup> См. «Расчет тонкостенных сводов-оболочек».

<sup>2</sup> См. «Безметалльные кружально-сетчатые своды».



а) Усилия от действия собственного веса

Меридиональное усилие на 1 м параллели:

$$T_1 = \frac{Q_\varphi}{2\pi R \sin^2 \varphi} = \frac{Q_\varphi}{2\pi r \sin \varphi}$$

или

$$T_1 = \frac{R}{r - r \cos \varphi} \cdot g, \quad (7)$$

где  $Q_\varphi$  — полный вес вышележащей части оболочки, определяемый по формуле:

$$Q_\varphi = 2\pi R^2 (1 - \cos \varphi) g;$$

$\varphi$  — угол между нормалью к поверхности и осью вращения купола;

$R$  — радиус сферы;

$g$  — вес 1 м<sup>2</sup> поверхности купола;

$r$  — радиус горизонтального сечения купола.

Если задаться количеством ребер, воспринимающих меридиональные усилия, то усилие в одном ребре может быть определено по формуле:

$$T_1' = \frac{Q_\varphi}{n \sin \varphi}, \quad (8)$$

где  $n$  — число ребер в куполе.

Кольцевые усилия на 1 м меридиана:

$$T_2 = \frac{\cos^2 \varphi + \cos \varphi - 1}{1 + \cos \varphi} gR \quad (9)$$

или

$$T_2 = RZ - T_1, \quad (10)$$

где  $Z = g \cos \varphi$  — радиальная компонента внешних сил:

$T_1$  — меридиональное усилие на 1 м.

Усилие в опорном кольце:

$$N_+ = \frac{H}{2\pi} = \frac{Q_\varphi \operatorname{ctg} \varphi}{2\pi}, \quad (11)$$

где  $H$  — распор, передаваемый кольцу.

б) Усилия от снеговой нагрузки, изменяющейся по закону

$$p = p_c \cos \varphi.$$

Меридиональные усилия на 1 м параллели:

$$T_1 = p_c \frac{R}{2}, \quad (12)$$

где  $p_c$  — величина снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию купола, принимаемая по Единым нормам (условно, как для цилиндрического покрытия).

Кольцевые усилия на 1 м меридиана:

$$T_2 = p_c \frac{R}{2} \cos 2\varphi. \quad (13)$$

Усилие в опорном кольце:

$$N = \frac{Q_\varphi \operatorname{ctg} \varphi}{2\pi}; \quad (14)$$

$$Q_\varphi = p_c \pi r^2, \quad (15)$$

где  $r$  — радиус опорного кольца.

в) Усилия от снеговой нагрузки, изменяющейся по закону

$$p = p_c \cos^2 \varphi.$$

Меридиональные усилия на 1 м параллели:

$$T_1 = \frac{p_c R}{3} \cdot \frac{\cos^2 \varphi + \cos \varphi + 1}{1 + \cos \varphi}. \quad (16)$$

Кольцевые усилия на 1 м меридиана:

$$T_2 = p_c R \cos^3 \varphi - T_1. \quad (17)$$

Усилие в опорном кольце:

$$N = \frac{Q_\varphi \operatorname{ctg} \varphi}{2\pi}; \quad (18)$$

$$Q_\varphi = \frac{2}{3} p_c \pi R^2 (1 - \cos^3 \varphi). \quad (19)$$

г) Усилия от ветровой нагрузки

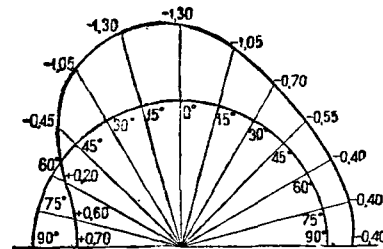
При расчете куполов на ветровую нагрузку при отношении стрелы к диаметру  $\frac{f}{D} \leq 1/4$  принимается во внимание только отрицательное давление (отсос с максимальной ординатой на вершине купола):

$$p_s = kq, \quad (20)$$

где  $q$  — величина скоростного напора;

$k$  — коэффициент обтекания, назначаемый в зависимости от  $\frac{f}{D}$  (по Единым нормам ориентировочно, как для цилиндрического свода).

Давление на купол иногда принимается распределенным по закону  $p = p_c \cos \varphi$ ; в этом случае все усилия могут быть определены по формулам для снеговой нагрузки  $p = p_c \cos \varphi$  с обратными знаками.



Фиг. 9. Эпюра давления ветра для полусферы

Для куполов с отношением  $\frac{f}{D} > 1/4$  необходимо учитывать и положительное и отрицательное давления. В этом случае эпюру давления ветра (фиг. 9) можно разложить на две эпюры. Нагрузка отрицательной эпюры может быть принята изменяющейся по закону  $p = p_c \cos^2 \varphi$  и усилия отрицательной эпюры определены по формулам для снеговой нагрузки, распределенной по закону  $p_0 = p_c \cos^2 \varphi$  с обратными знаками.

Усилия от кососимметричной эпюры можно определить по таблице для  $W_0 \sin^2 \varphi \sin^2 \psi^2$ ; при этом давление ветра принимается:

$$W_0 = 0,4 q,$$

где  $q$  — скоростной напор ветра.

Меридиональные и кольцевые усилия определяются для нижнего и верхнего опорных колец и для нескольких промежуточных параллелей вблизи сечения, где ожидается перемена знака кольцевых усилий. Вычисленные усилия от раз-

<sup>1</sup> См. «Оболочки» Ф. Диншгера, изд. 1932 г.

ных случаев загрузки суммируются для получения максимальных величин, по которым производится подбор сечений.

**Пример 2.** Расчет тонкостенного купола над зданием газгольдера для Березниковского химкомбината (фиг. 10—15).

а) Размеры купола

$D = 32,50$  м; стрела — 7,20 м, радиус сферы  $R = 21,75$  м, отверстие фонаря  $D_1 = 4,50$  м, половина центрального угла  $\varphi = 48^\circ 24'$ ,  $\cos \varphi = 0,665$ .

<sup>1</sup> Проект разработан в Гидрохиме инж. Мильвицким Р. В.

б) Нагрузки (симметричные)

Собственный вес.

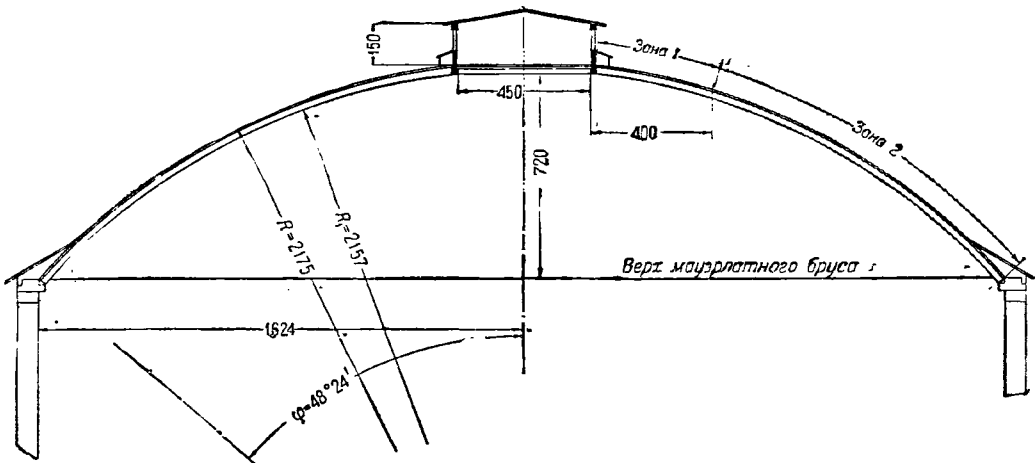
Кровля рубероидная по пергамину и клебемассе . . . 15,0 кг/м<sup>2</sup>  
 оболочка 0,07×60 . . . . . 42,0 »

Итого 57,0 кг/м<sup>2</sup>

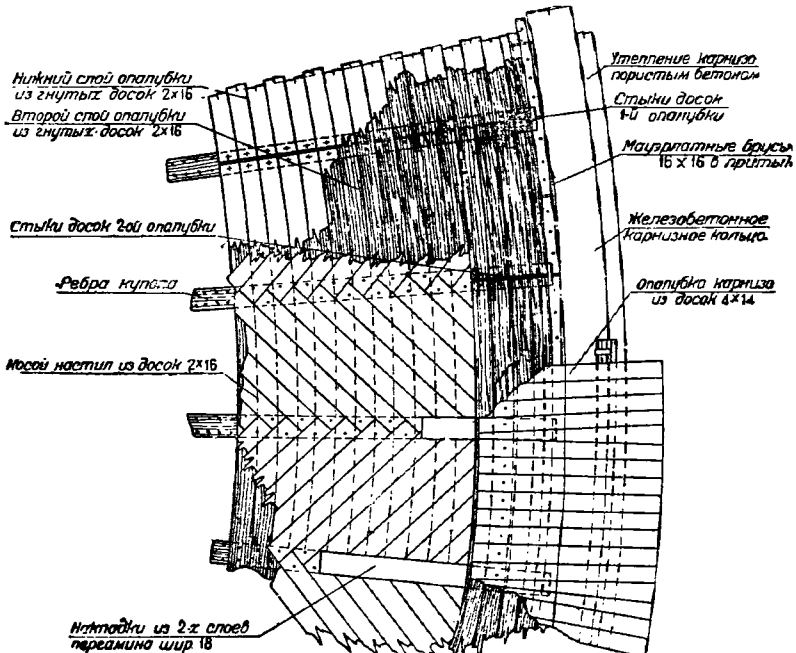
По всему куполу:

$$Q_g = 2\pi R^2 (1 - \cos \varphi) g =$$

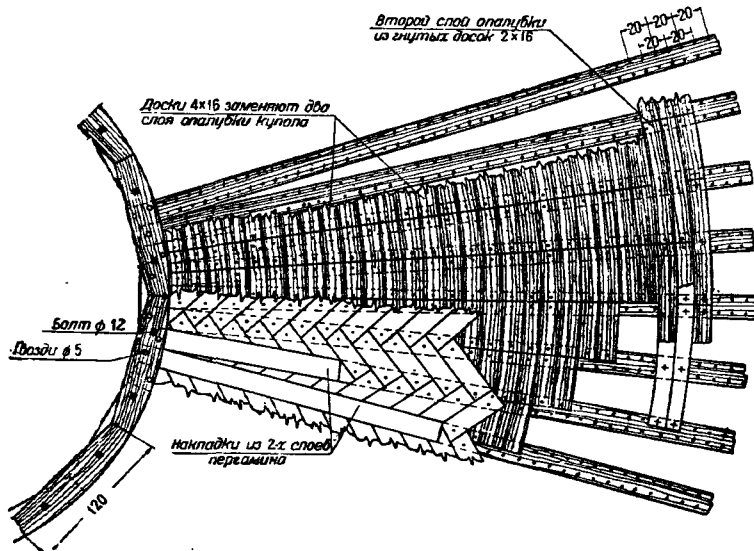
$$= 2\pi 21,75^2 (1 - 0,665) \cdot 57 = 56\ 600 \text{ кг.}$$



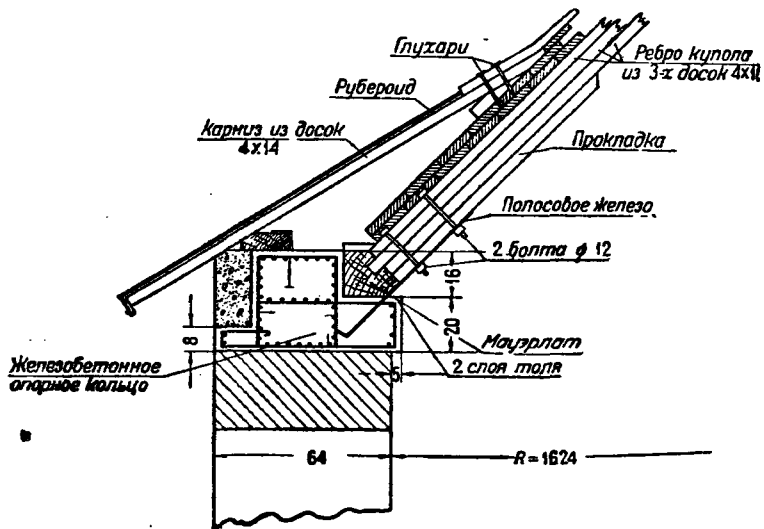
Фиг. 10. Купол Березниковского химкомбината



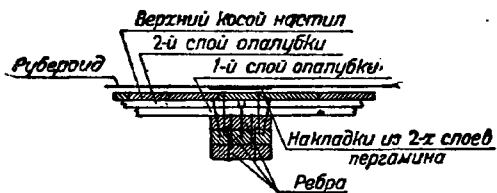
Фиг. 11. Оболочка у нижнего опорного кольца



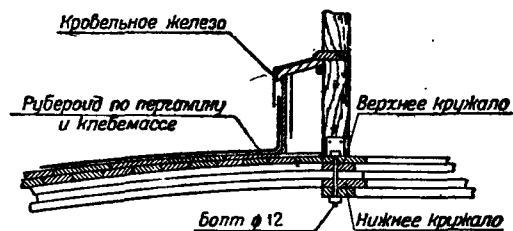
Фиг. 12. Оболочка у верхнего кольца



Фиг. 13. Опора меридиональных ребер



Фиг. 14. Прикрепление кольцевых настилов к меридиональным ребрам



Фиг. 15. Присмыкание меридионального ребра к верхнему и нижнему кольцам

Ребра купола:

$$82 \cdot 16,5 \cdot 0,16 \cdot 0,12 \cdot 600 = 15\,500 \text{ кг}$$

фонарь:

$$1\,200 \text{ »}$$

$$\text{Итого } 73\,300 \text{ кг}$$

Снеговая нагрузка (по закону  $\cos \varphi$ ):

$$p_c = 150 \text{ кг/м}^2;$$

$$Q_c = \pi r^2 p_c = \pi 16,25^2 \cdot 150 = 125\,000 \text{ кг.}$$

Полная нагрузка на купол:

$$Q \approx 200\,000 \text{ кг.}$$

в) Расчет основных элементов

Распор, передаваемый опорному кольцу.

Максимальный распор:

$$H' = \frac{H}{2\pi r} =$$

$$= \frac{Q_1 \operatorname{ctg} \varphi}{2\pi r} = \frac{200\,000 \cdot \operatorname{ctg} 48^\circ 24'}{6,28 \cdot 16,25} = 1\,735 \text{ кг/м.}$$

Максимальное растягивающее усилие в опорном кольце:

$$N_+ = H' r = 1\,735 \cdot 16,25 = 28\,160 \text{ кг.}$$

Принято железобетонное кольцо сечением  $60 \times 30 \text{ см}$ .

Усилия в меридиональном ребре купола (при  $82$  ребрах):

$$T_1 = \frac{Q}{n \sin \varphi} = \frac{200\,000}{82 \sin 48^\circ 24'} = 3\,260 \text{ кг.}$$

Необходимая площадь смятия мауэрлата (поперек волокон) под ребром:

$$F_c = \frac{3\,260}{20} = 163 \text{ см}^2.$$

Принято ребро из трех досок  $4 \times 16 \text{ см}$ , причем средняя доска имеет ширину размером  $4 \times 6 \text{ см}$ .

Усилия в параллелях определяются по формуле:

$$T_2 = RZ - T_1,$$

где  $Z$  — радиальная компонента внешних сил;

$T_1$  — меридиональное усилие на  $1 \text{ м}$ .

В пределах между фонарным и опорным кольцами можно принять:

$$Z = q \cos \varphi =$$

$$= 57 \cos \varphi + \frac{0,16 \cdot 0,12 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 82}{2\pi \cdot 21,75} \cdot \operatorname{ctg} \varphi +$$

$$+ 150 \cos^2 \varphi = 57 \cos \varphi + 8 \operatorname{ctg} \varphi + 150 \cos^2 \varphi;$$

для

$$\varphi = 48^\circ 24'$$

имеем:

$$Z = 57 \cdot 0,665 +$$

$$+ 8 \cdot 1,13 + 150 \cdot 0,44 = 133,35 \text{ кг/м;}$$

$$T_2 = 133,35 \cdot 21,75 - \frac{3\,260}{1,245} = -150 \text{ кг/м,}$$

Усилие — растяжение; гвоздевые соединения в параллелях поставлены конструктивно.

Сжимающие кольцевые усилия  $T_2$  в верхней части купола воспринимаются торцами досок.

В зоне фонарного кольца усилия:

$$T_1 = \frac{Q_\varphi}{2\pi r \sin \varphi} = \frac{1\,200 + 2\,400}{6,28 \cdot 2,95 \cdot \sin 6^\circ} = 2\,440 \text{ кг/м,}$$

где  $2\,400 \text{ кг}$  — снеговая нагрузка фонаря;

$$Z = 57 \cdot 0,99 + 8,05 \cdot 9,5 + 150 \cdot 0,98 = 280 \text{ кг/м}^2;$$

$$T_2 = 21,75 \cdot 280 - 2\,440 = +3\,640 \text{ кг/м (сжатие).}$$

В фонарном кольце действует сжимающее усилие:

$$N_- = T_1 r = 2\,440 \cdot 2,25 = 5\,500 \text{ кг.}$$

Сечение кольца назначено конструктивно.

Растягивающие кольцевые усилия  $T_2$  определяем от снеговой нагрузки, изменяющейся по закону:

$$p = p_c \cos^2 \varphi = 150 \cos^2 \varphi.$$

Нагрузка от снега по всему куполу:

$$Q_c = 105\,000 \text{ кг;}$$

$$Q = Q_c + Q_g = 105\,000 + 73\,300 = 180\,000 \text{ кг.}$$

Усилия в одном ребре:

$$T_1 = \frac{180\,000}{82 \sin 48^\circ 24'} = \frac{180\,000}{82 \cdot 0,746} = 2\,960 \text{ кг.}$$

Кольцевые усилия:

$$T_2 = ZR - T_1 =$$

$$= (57 \cos \varphi + 8,05 \operatorname{ctg} \varphi + 150 \cos^2 \varphi) R - T_1;$$

для  $\varphi = 48^\circ 24'$  имеем:

$$Z = 57 \cdot 0,665 +$$

$$+ 8,05 \cdot 1,13 + 150 \cdot 0,295 = 91,5 \text{ кг/м;}$$

$$T_2 = 91,5 \cdot 21,75 - 2\,960 = 1\,990 - 2\,960 = -970 \text{ кг/м.}$$

Для восприятия этого растягивающего усилия необходимо гвоздей  $\varnothing 2,6 \text{ мм}$ ,  $l = 70 \text{ мм}$ .

$$m = \frac{T_2}{T_{20}} = \frac{970}{21} = 46 \text{ шт.};$$

при ширине досок опалубки  $16 \text{ см}$  число гвоздей срезов в доске должно быть:

$$m = \frac{46 \cdot 16}{100} \approx 8.$$

Все полученные усилия настолько незначительны, что гвоздевой забой и прочие элементы купола назначены конструктивно.

## 5. Ребристые оболочки вращения

### Общая характеристика

Ребристые куполы-оболочки развились от тонкостенных оболочек и применяются для больших пролетов, когда для повышения устойчивости оболочки необходимо придать меридиональным ребрам большую жесткость.

Помимо того такие жесткие ребра служат монтажным скелетом при возведении купол. распределяют сосредоточенные нагрузки на оболочку и воспринимают изгибающие моменты, которые могут быть значительными при несимметричной нагрузке, наличии вырезов в оболочке и в других случаях.

Кольцевой и косой настилы устраиваются в том же, как и в тонкостенных оболочках.

Ребристые куполы-оболочки рассчитывают по тем же методам, что и тонкостенные оболоч-

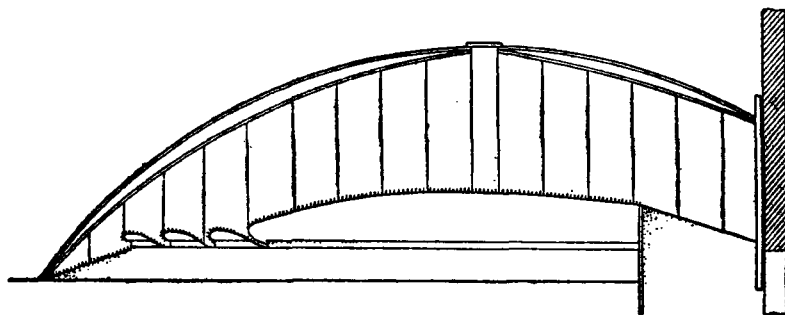
Для восприятия меридиональных усилий между жесткими ребрами ставятся промежуточные ребра из трех-четырех досок плашмя.

**Пример 3.** Купол Симоновского дворца культуры в Москве<sup>1</sup> (фиг. 16—22).

#### а) Конструкция

Купол перекрывает зрительный зал вместимостью в 4 000 человек и имеет подвесной акустический потолок. Часть купола срезается сценой театра, причем возможность передачи горизонтальных усилий на сцену исключена. Диаметр купола равен 59,0 м при высоте подъема  $f = 15,3$  м, т. е.:

$$\frac{f}{D} = \frac{15,3}{59,5} \approx \frac{1}{4}.$$



Подвесной потолок

Фиг. 16. Купол Симоновского Дворца культуры

Основные жесткие ребра купола, расположенные через 6,0 м (по опорному кольцу), составного сечения с фанерной стенкой<sup>2</sup>, имеют серповидную форму с наибольшей высотой сечения  $h = 1,15$  м, т. е.:

$$\frac{h}{D} = \frac{1,15}{59,5} \approx \frac{1}{52}.$$

Максимальная высота сечения ребра остается постоянной для всех ребер купола, включая и срезанную часть последнего, в которой ребра соответственно изменены по длине (фиг. 19). Эти ребра являются монтажным скелетом купола; конструкция ребра показана на фиг. 18 и 19.

Между основными ребрами поставлены кольцевые связи, состоящие из парных прогонов и подкосов к ним. Связи служат опорами для промежуточных ребер во время монтажа и обеспечивают устойчивость нижних поясов основных ребер. Для придания кровле купола кривизны под ребрами между досками прогонов вставлены прокладки. Промежуточные ребра II и III состоят из трех досок, сшитых гвоздями.

В срезанной части купола все промежуточные ребра — составного сечения с фанерными стенками.

Ребра в несрезанной части опираются на железобетонное кольцо, воспринимающее распор купола (фиг. 20). В верхней части купола основные ребра опираются на кольцо, составленное из

косяков (фиг. 21). Промежуточные ребра не доходят до верхнего кольца и воспринимают меридиональные усилия от кольцевого настила через гвозди.

Основные и промежуточные ребра в срезанной части передают на железобетонную стенку сцены только вертикальные составляющие. Деталь опирания показана на фиг. 22.

Кольцевой настил состоит из брусков 4,0 × 4,0 см, сшитых гвоздями по всей поверхности купола в сплошную оболочку. В срезанной части поверх основного настила устроен дополнительный пояс шириной 1,5 м. Фибролитовое утепление подшито снизу гудронированной фанерой. Осушающий режим конструкции обеспечивается сплошными кольцевыми щелями в железной кровле купола.

Для уменьшения пожарной опасности предусмотрено всю внутреннюю поверхность купола

и ребра, а также деревянные части подвесного потолка покрыть огнезащитной силикатной краской.

Подвесной акустический потолок состоит из радиальных дощатых ребер, расположенных под ребрами купола и подвешенных к ним при помощи тяжей  $\varnothing 12$  мм. На ребрах нашиты локальные шаблоны для устройства софитов. Снизу дана подшивка из колотых досок для нанесения штукатурки.

#### б) Принцип расчета

Основным затруднением в расчете этого купола было нарушение цельности оболочки срезом в месте примыкания к сцене. В качестве первого приближения приняты следующие предпосылки.

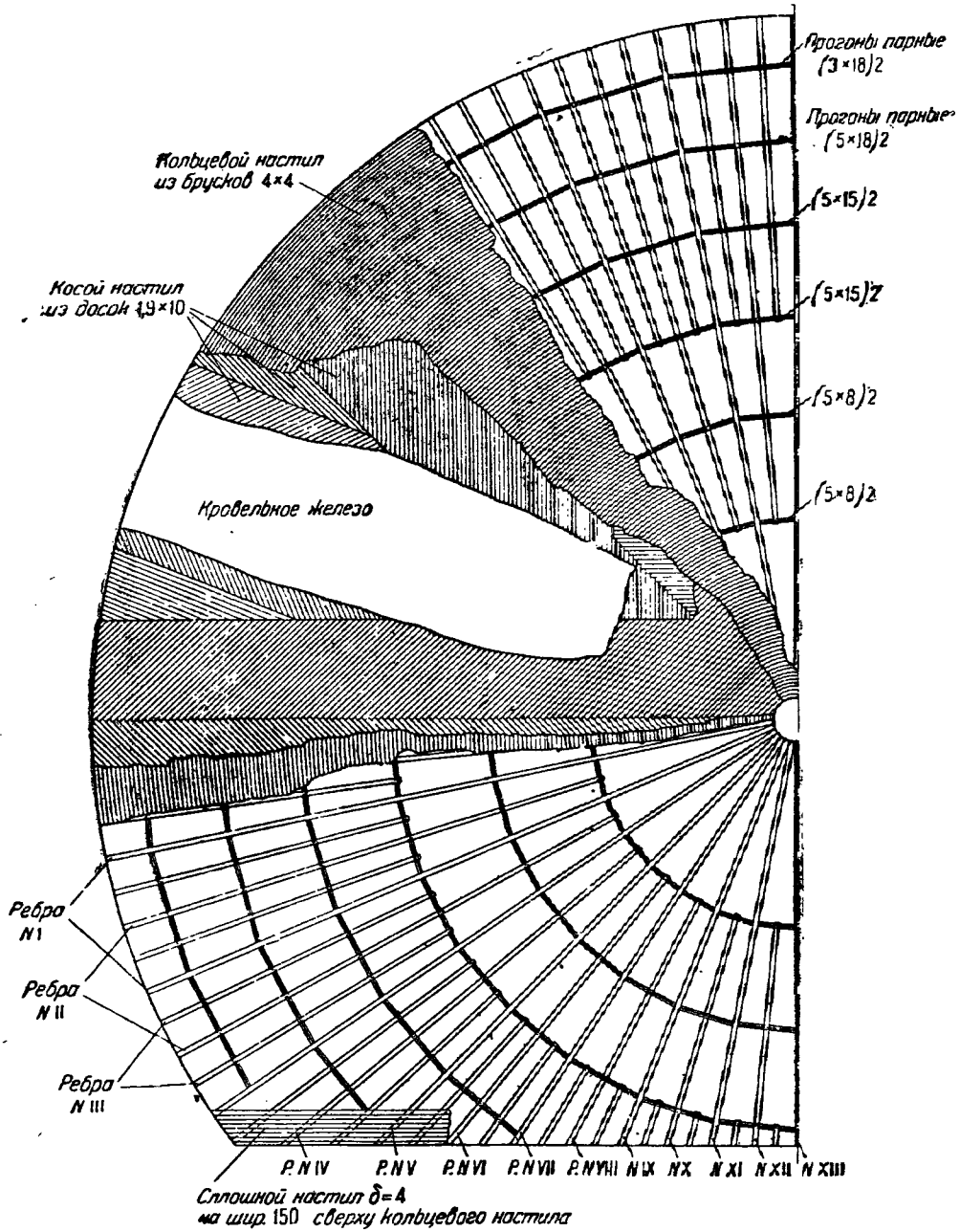
1. В несрезанной части купола меридиональные и кольцевые усилия определяются без учета нарушения цельности оболочки, т. е. по обычным формулам теории оболочек вращения (для симметричной нагрузки).

2. Меридиональные усилия цельной оболочки в местах примыкания купола к сцене направлены по касательной к окружности меридионального сечения данного ребра. Эти меридиональные усилия раскладываются на составляющие: 1) вертикальную, воспринимаемую вертикальной железобетонной стенкой, и 2) по хорде ребра купола, вызывающую в ребре изгибающий момент.

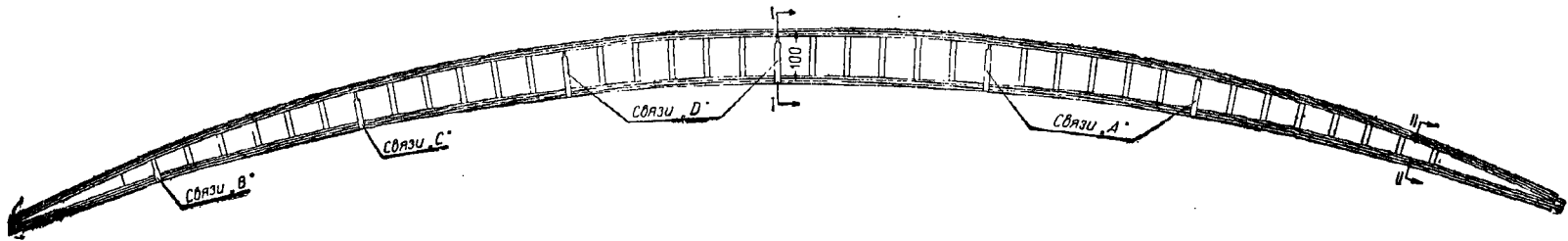
3. Кольцевые усилия у среза купола приложены по касательной к окружности горизонтального сечения купола. Эти усилия раскладываются сначала в плоскости горизонтального сечения на составляющие: 1) в направлении ребра

<sup>1</sup> Проект разработан в 1933 г. в СДК ЦНИПС инж. Свенцицким Г. В.

<sup>2</sup> Возможность применения фанеры, как и в других случаях, обуславливается полным исключением опасности увлажнения ее при возведении и эксплуатации.

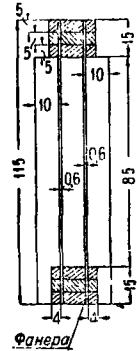


Фиг. 17. Купол Симоновского Дворца культуры

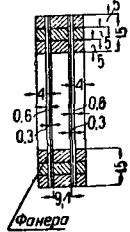


Фиг. 18. Фасад ребра (к Фиг. 17)

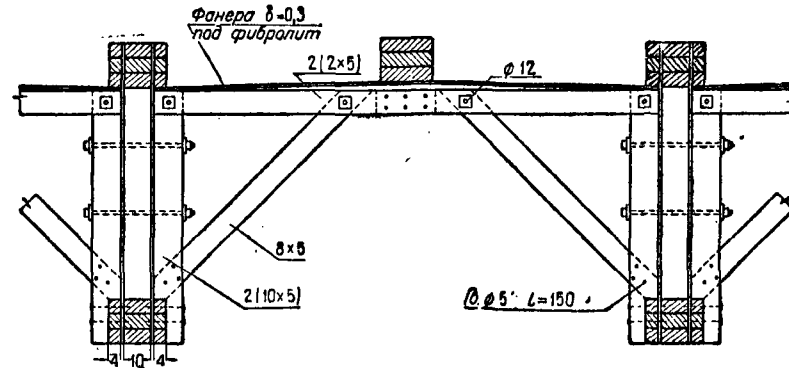
Сечение I-I



Сечение II-II

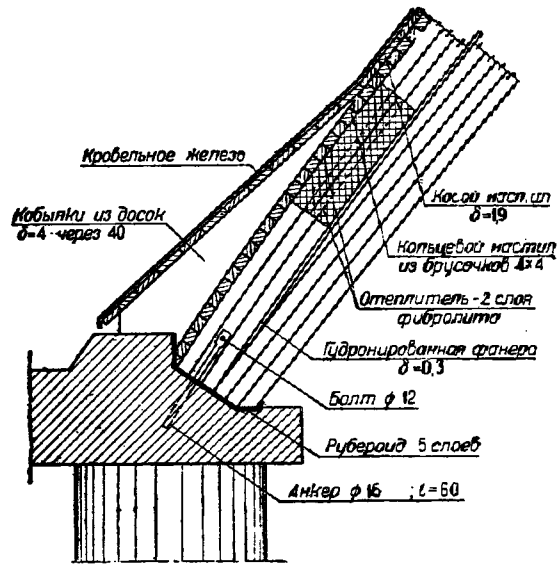


а)

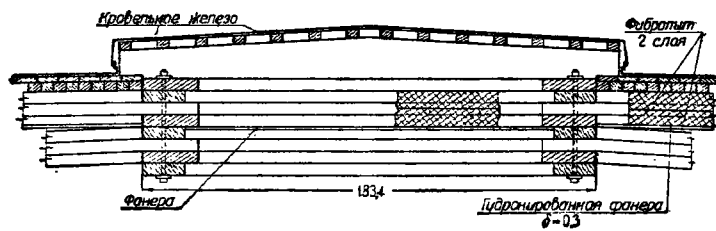
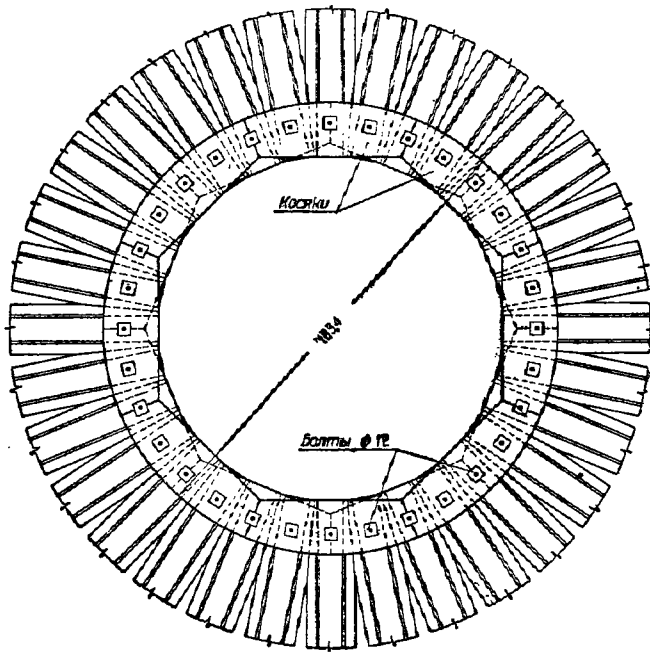


б)

Фиг. 19. Поперечное сечение ребра и поперечные связи жесткости (к Фиг. 17)



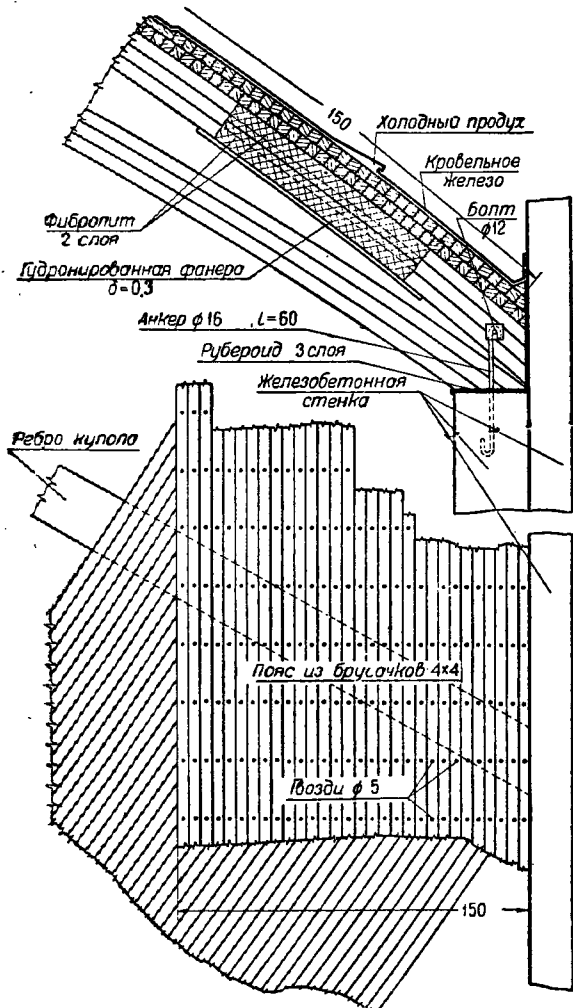
Фиг. 20. Опирање ребер в несрезанной части (н фиг. 17)



Фиг. 21. Верхнее кольцо (н фиг. 17)



(по меридиональному сечению) и 2) параллельно железобетонной стенке. Последняя составляющая воспринимается стенкой и специальным параллельным поясом из досок. Меридиональная составляющая кольцевого усилия раскладывается далее по п. 2 в направлениях: 1) хорды данного



Фиг. 22. Опираие ребер в срезанной части на вертикальную стенку (к фиг. 17)

ребра и 2) вертикально. Составляющая по хорде дает в ребрах дополнительный изгибающий момент, складываемый с моментом в ребре от меридиональных усилий, а вертикальная составляющая воспринимается железобетонной стенкой.

4. Возникающие сдвигающие усилия воспринимаются косым настилом и кольцевой оболочкой купола, сшитыми гвоздями в одно целое.

Ребра, примыкающие к стене, рассчитывались на изгибающие моменты, определенные по вышеуказанному способу. В остальной части купола очертание ребер принято таким же. Кроме того основные ребра проверены на усилия от монтажных нагрузок.

#### в) Технические показатели проекта

- 1) Приведенная толщина оболочки без конструкции подвесного потолка — 11,3 см;
- 2) расход металла по отношению к полному весу купола без потолка — 2,85%;
- 3) расход дерева на 1 м<sup>2</sup> плана — 58,3 кг/м<sup>2</sup>;
- 4) расход металла на 1 м<sup>2</sup> плана — 1,71 кг/м<sup>2</sup>.

### 6. Прочие типы куполов

К числу предложенных в последнее время новых конструкций относятся:

- а) кольцемассивный купол;
- б) полусборный купол из меридиональных треугольников;
- в) сборный купол из отдельных блоков.

#### 1) Кольцемассивный купол<sup>1</sup>

Особенностью кольцемассивного купола является равномерное распределение материала по всей толщине ограждения, так что дерево, воспринимая усилия конструкции, является в то же время единым теплоизолятором ограждения (фиг. 23—25).

Кольцевой слой купола образуется постепенной укладкой досок плашмя по параллелям купола. Каждый последующий слой перекрывает стыки досок предыдущего слоя и пришивается к ранее уложенным слоям гвоздями.

Ширина досок назначается главным образом из теплотехнических соображений. Длина досок зависит от радиуса сферы и величины допускаемого углубления в рифленной поверхности купола (изнутри). Толщина досок должна быть в каждом слое одинаковой и наибольшей — внизу купола. Доски изгибаются только по меньшей высоте для плотной укладки на коническую поверхность предыдущего слоя. Изнутри вся поверхность купола получается рифленной без выступающих углов.

Ребра, состоящие из отдельных авеньев длиной 3—6 м, и меридиональные доски постепенно пришиваются к кольцевому слою сверху во время возведения купола.

Форма купола желательна сферическая. Кольцемассивный купол возводится без коренных лесов и центральной мачты. Положение каждой укладываемой доски кольцевого слоя контролируется гибким или жестким радиусом («воробой») из центра сферы или центра плана купола (если центр сферы недосягаем). В последнем случае величина радиуса меняется для каждого слоя оболочки.

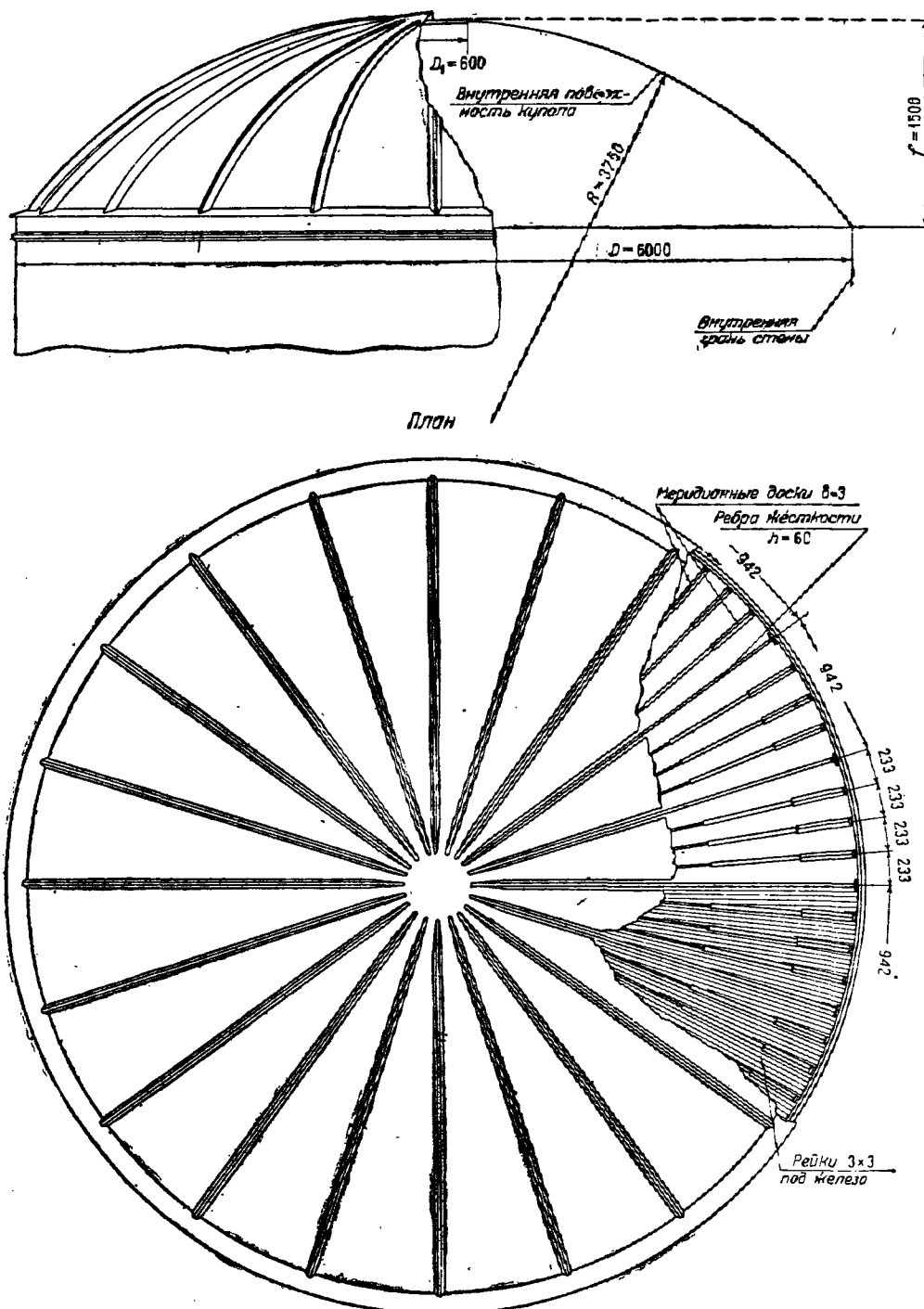
Назначение ребер то же, что и в обыкновенной ребристой оболочке. Меридиональные доски воспринимают меридиональные усилия. Если меридиональные доски будут покрывать наружную поверхность оболочки сплошным слоем, то толщину меридионального слоя можно учесть в теплотехническом расчете оболочки.

Перед сдачей сооружения в эксплуатацию должна производиться обработка внутренней поверхности купола.

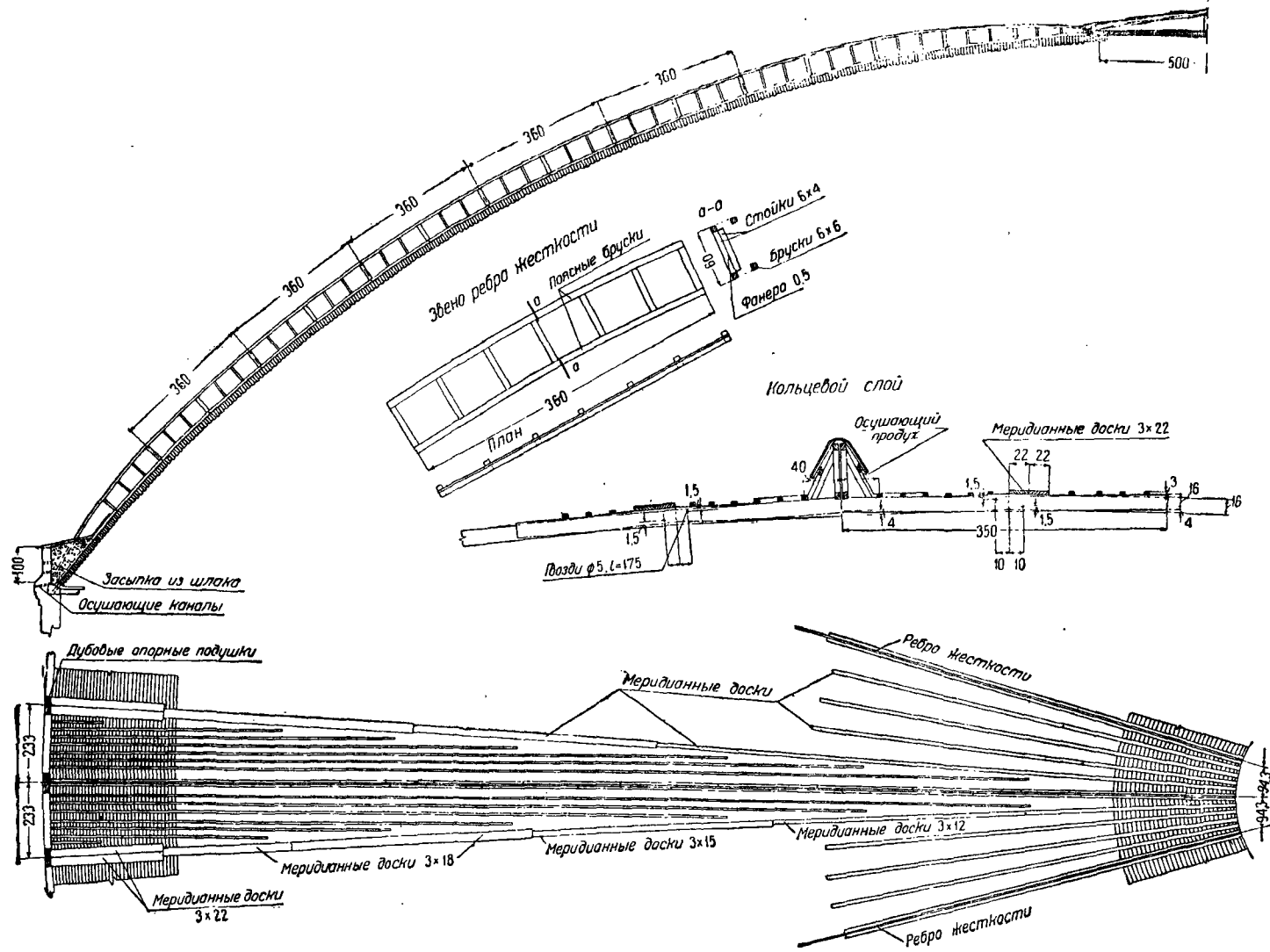
Положительными свойствами кольцемассивного купола являются:

- а) возможность возведения без коренных лесов;

<sup>1</sup> Предложено инж. Кашкаровым К. П. в 1934 г

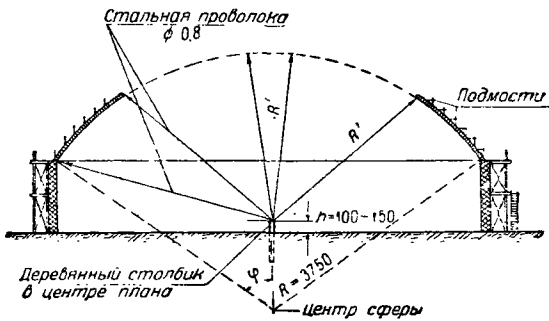


Фиг. 23 : Кольцемассивный купол  $D = 60$  м

Фиг. 24. Кольцемассивный купол  $D = 60$  м

2) возможность применения низкосортных лесоматериалов и лесных отходов на строительстве;  
3) отсутствие выступающих частей конструкции внутри помещения;  
4) высокие противопожарные свойства.

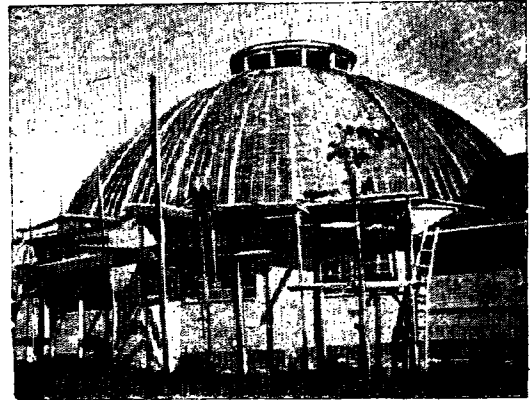
В 1934 г. на Московском госипподроме был построен кольчегмассивный купол  $D = 20$  м. Ребра жесткости сделаны в виде арон Делорма (фиг. 26 и 27).



Фиг. 25. Схема производства работ по возведению кольчегмассивного купола

диональных усилий, вертикальные же — используются для бокового освещения. Возможность бокового освещения является большим преимуществом предложенной конструкции по сравнению с купольными оболочками.

Сборный купол<sup>1</sup> (фиг. 29) собирается из отдельных кольцевых блоков, соединяемых при помощи вадвижного паво-шипа с последующей прошивкой соприкасающихся брусок гвоздями.



Фиг. 26. Кольчегмассивный купол  $D = 20$  м на I Госипподроме в Москве



Фиг. 27. Кольчегмассивный купол  $D = 20$  м на I Госипподроме в Москве

## 2) Полуеборные и еборные куполы

Применение принципа сборности ваметило следующие возможности конструкции полусборного и сборного куполов.

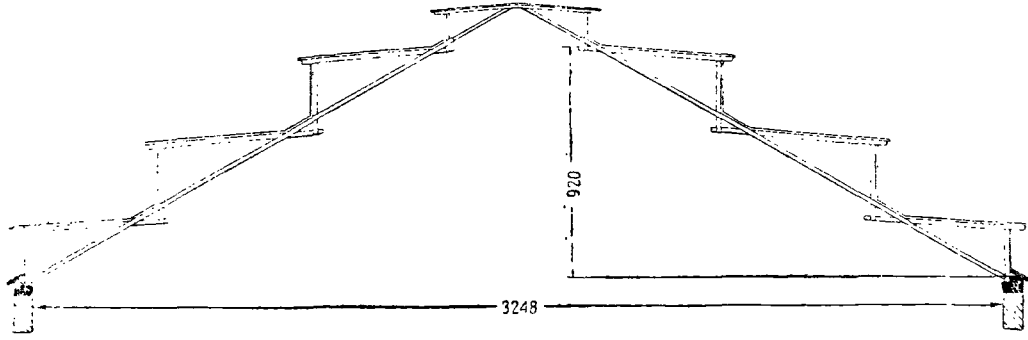
Полусборный купол (фиг. 28) состоит из жестких меридиональных треугольников<sup>1</sup>, устанавливаемых при помощи временных креплений с последующей укладкой кольцевого настила по наклонным наружным сторонам треугольников. После замыкания кольцевого настила одного яруса может производиться установка следующего. Внутренние наклонные стороны треугольников стыкуются для восприятия мери-

Сборные ребра состоят из отдельных частей, соединяемых последовательным наращиванием на половину длины элемента. Сплоенное ребро имеет сечение из двух частей, одинаково воспринимающих меридиональные усилия оболочки. По параллелям купола укладываются блоки с готовым утеплителем, кровлей и пароизоляцией, также с перекрытием стыков предыдущего слоя. Кольцевые блоки пересекают стенку ребра один слой.

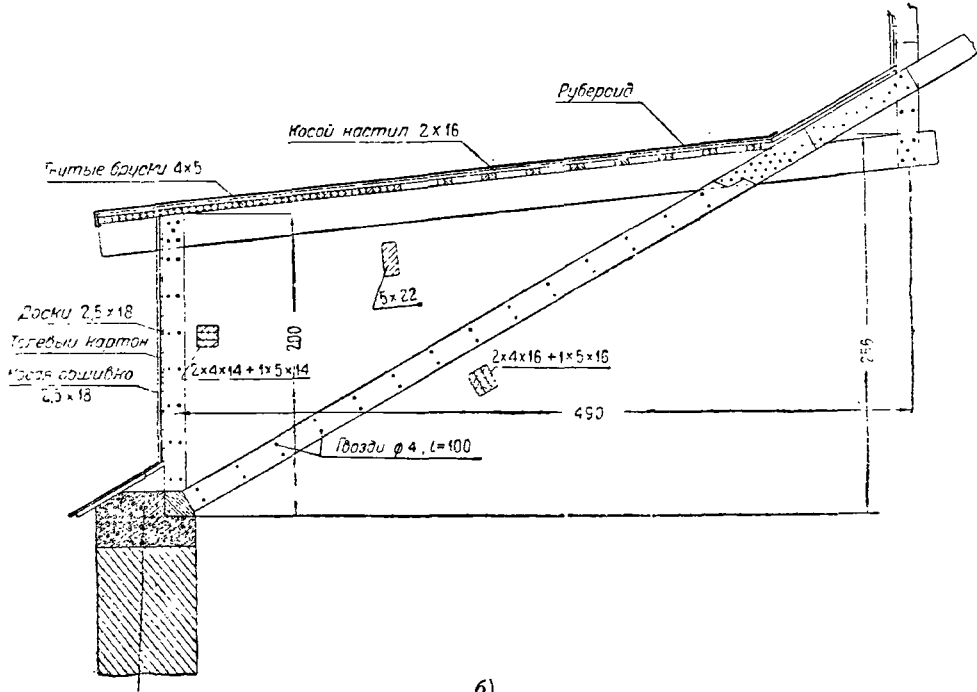
Взаимное расположение ребер и кольцевых блоков может быть различно; бруски ребра могут

<sup>1</sup> Предложен инж. Мильвицким Р. В. в 1932 г.

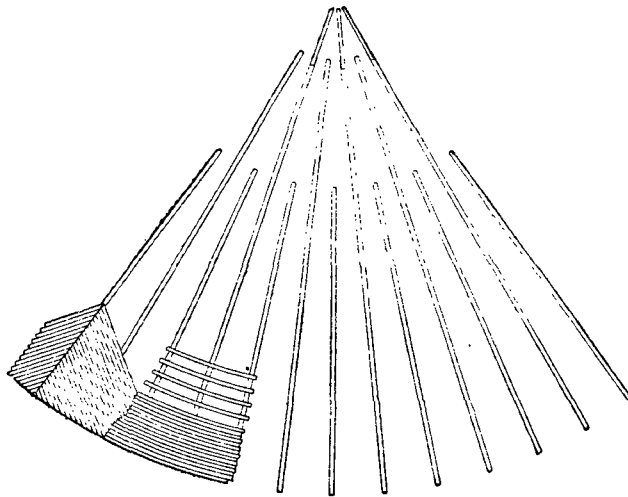
<sup>1</sup> Предложен инж. Камкаровым К. П. в инж. Свенциным Г. В. в 1933 г., опытной проверке не подвергался.



а)



б)



б)

Фиг. 28. Ступенчатый полусферный купол

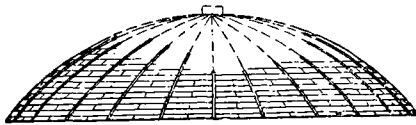
быть снаружи, внутри или смещены в какую-либо сторону по отношению к толщине кольцевых блоков.

В холодных куполах и куполах, покрываемых другим кровельным материалом, применяются сквозные блоки без обшивок.

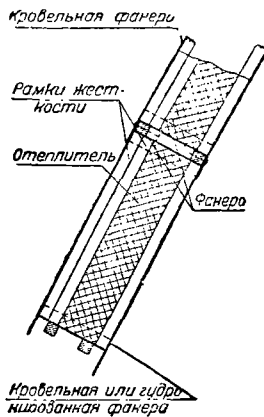
## 7. Производство работ

При возведении куполов-оболочек применяется обычно следующий порядок производства работ:

- а) заготавливаются на земле ребра купола;
- б) укладываются и укрепляются на железобетонном кольце креозотированные мауэрлаты с прокладкой двух слоев толи;
- в) устанавливается на подмостях нижняя часть фонарного кольца купола;
- г) поднимаются и устанавливаются ребра купола попарно с диаметрально противоположных сторон; на время установки ребер фонарное кольцо раскрепляется;
- д) укладывается верхняя часть фонарного кольца и сбивается гвоздями или стигивается болтами с нижней частью кольца; устанавливается фонарь;



а)

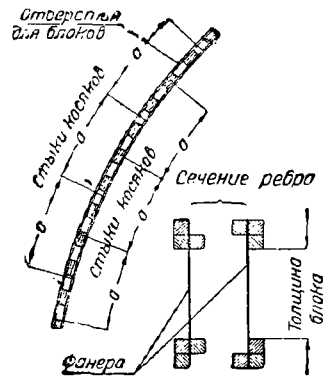


а)

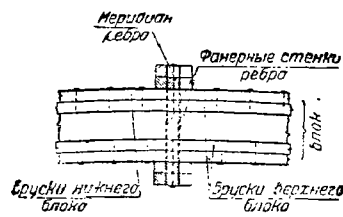
должно быть обращено особое внимание на правильное раскрепление ребер помощью тросов, ванатов и расшивок. Таким образом возведены большие купола в Саратове и Иванове (фиг. 30).

Недостатком такого способа возведения является значительная трудоемкость работ по подъему и закреплению гибких и громоздких ребер, и поэтому экономически может оказаться более выгодной сборка куполов с коренных лесов.

Более совершенным способом являются подъем и установка сваренных ребер. Внизу ребра попарно соединяются элементами кровли и поперечных поясов и временными расшивками, образуя готовую часть покрытия с кровлей, термо-



б)



в)

Фиг. 29. Сборный купол из отдельных кольцевых блоков

е) производится последовательная обшивка слоев купольной оболочки и кровельные работы;

ж) производится подшивка утепления и раскрепление подмостей с разборкой лесов.

Доски купольных обшивок в целях механизации работы целесообразно заготавливать внизу по специальным шаблонам.

Для плоскостных ребристых куполов и ребристых оболочек возможно производство работ без коренных лесов. Отдельные ребра поднимаются и устанавливаются на свои места. Вверху ребра опираются на кольцо, установленное на центральной махте. При этом способе работ

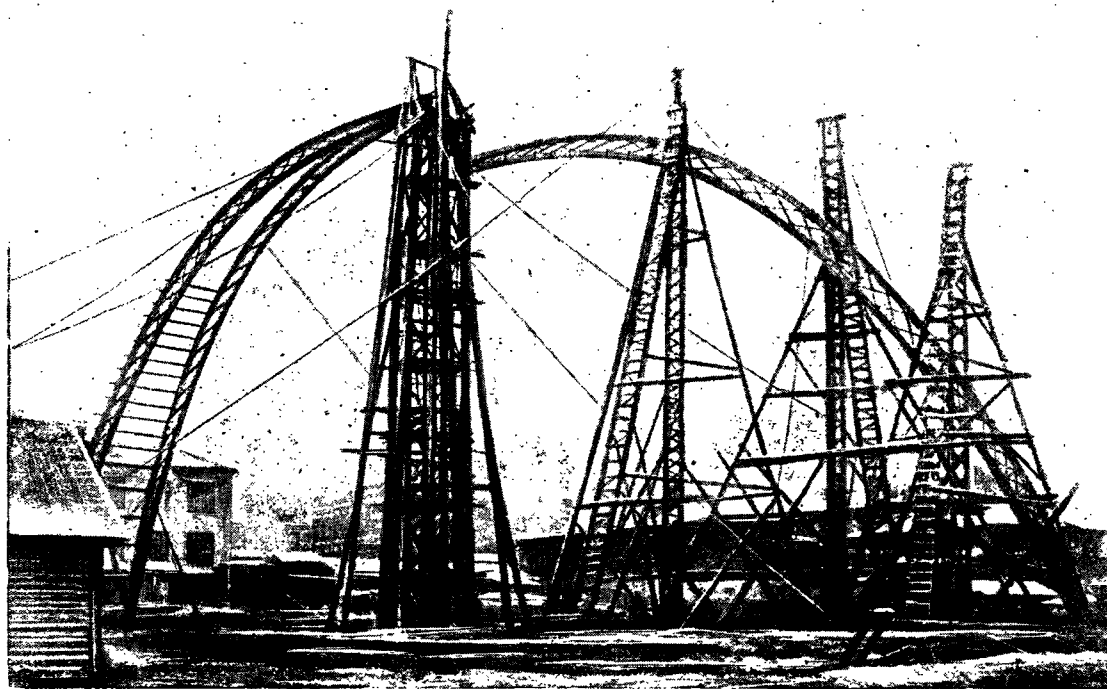
изоляцией и отделкой всего сферического сектора. Подъем и установка подобного сектора благодаря обеспеченной устойчивости ребер менее трудоемки.

Примером такого производства работ могут служить деревянные подмости для железобетонного купола театра в Новосибирске<sup>1</sup>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Диппигер Ф., Оболочки и куполы, 1932 г.
2. Проф. Новодворский В. Э., Курс теории сооружений, часть спец. вып. 1, «Оболочки», 1 — Статические задачи, изд. АКНИ, Баку 1932 г.

<sup>1</sup> См. т. IV, стр. 350—351.



Фиг. 30. Возведение купола в г. Иванове

3. Геккелер Ш. В., Статика упругого тела, ОНТИ, 1934 г.

4. Проф. Новодворский В. Э., О так называемой «безмоментной теории» оболочек, «Строит. пром.» № 1, 1933 г.

5. Prof. Dr. Steurmann E., Berechnung der Kuppeln als Bogen auf elastischer Unterlage, «Der Bauingenieur», 1933, N. 21/22.

6. Инж. Соколов, Расчет куполов, «Инженерный журнал» 1906 г.

7. Лахтин, Расчет арок и сводов, 1914 г.

8. Керстен М., Современные инженерные деревянные конструкции, Гострансиздат, 1932 г.

9. Иванов В. Ф., Деревянные конструкции гражданских сооружений, ч. 1.

10. Пастернак П. Л. и Матери Б. Ф., Конструкция большого театра в Новосибирске (монтаж лесов для железобетонного купола), «Проект и стандарт» № 1, 1935 г.

11. Клейменов Б., Постройка купола (кругосеччат. купол) «Строит. пром.» № 9, 1935 г.

12. Инж. Лопатин Б., Постройка здания Госпирка в г. Иванове (дерев. купол), «Строит. пром.» № 1-1934 г.

13. Инж. Мильвицкий Р. В., Опыт проектирования новых строительных конструкций для зданий химических заводов (дерев. купольно-оболочки), «Химстрой» № 9-10, 1931 г.

14. Инж. Мильвицкий Р. В., Опыт проектирования новых строительных конструкций для зданий химических заводов (расчет цилиндрической оболочки и примыкание ее к полукуполу), «Химстрой» № 4, 1932 г.

15. Инж. Кашкаров К. П., Новая конструкция деревянного купола (кольцеобразный купол), «Проект и стандарт», 1936 г.

16. Инж. Кашкаров К. П., Безреберный купол, Научно-технический отчет ЦНИИПС, 1934 г.

17. Инж. Свенцицкий Г. В., Технический проект деревянного ребристого купола Дворца культуры в Ленинской слободе (Москва), Научно-технический отчет ЦНИИПС, 1933 г.

## РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

# КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Доц. Г. А. ЦВИНГМАН*

### 1. НАВЕСЫ И САРАИ

#### 1. Общая технико-экономическая характеристика

Деревянные навесы и сараи представляют собой специальную группу деревянных сооружений, весьма разнообразную по схемам, конструктивным решениям, габаритам и по возможному эксплуатационному использованию. Они широко применяются во всех отраслях народного хозяйства и в большинстве случаев являются характерными представителями простейших инженерных деревянных сооружений.

Навесы применяются главным образом только для защиты от атмосферных осадков (снега и дождя) определенного участка земли, почему и представляют собой в основном кровельное покрытие, опирающееся на ряд стоек. К навесам следует отнести открытые перронные покрытия, свободно стоящие покрытия трибун для публики в спортстадионах, собственно навесы для хранения разных материалов и оборудования, так называемые козырьки для защиты разного рода входов и вводов в помещения и т. п.

Сараи ограждают пространство не только сверху, но и с боков путем устройства наружных стен.

Сараи предназначаются для хранения разного рода инвентаря и материалов и как помещения для птиц и скота. К этой группе следует отнести пакгаузы и сараи для хранения сырья, полуфабрикатов и готовой продукции промышленного и сельскохозяйственного назначения.

В практике чаще всего применяются простейшие деревянные конструкции навесов и сараев, собираемые на месте из отдельных бревен и досок и скрепляемые обыкновенно простейшего типа врубками, болтами, скобами и гвоздями. Только навесы особого назначения — для самолетов и автомобилей, летние театры и т. п. — при значительных габаритах сооружения осуществляются в инженерных формах деревянных конструкций.

Элементы, восприимчивые вертикальную нагрузку от перекрытия навеса или сарая (стойки), осуществляются обычно в дереве или камне.

Применение каменных и железобетонных несущих столбов в сочетании с легкими деревянными покрытиями навесов и сараев для капиталь-

ных сооружений во всех отношениях целесообразно и должно считаться основным решением.

Для обеспечения боковой устойчивости сооружения следует стремиться к использованию жесткости наружных и внутренних стен или перегородок здания. Наличие стенок-диафрагм особенно желательно в протяженных и многопролетных схемах. Они могут быть бетонно-каменными или деревянными. Устойчивость отдельных секций между поперечными диафрагмами при шарнирных опорах стоек этих секций может обеспечиваться кровлей, которая в этих случаях рассматривается и должна быть сконструирована тоже как жесткая диафрагма, работающая в горизонтальной плоскости и заанкеренная в соответствующих бетонно-каменных или деревянных поперечных стенах.

Закапывание деревянных стоек в землю или заделка их в бетонно-каменные массивы, часто применяемые в целях придания устойчивости сооружению, не могут быть рекомендованы, поскольку загнивание деревянных стоек в месте выхода из земли при переменном воздействии тепла, воздуха и воды почти неизбежно. Примитивное закапывание стоек допустимо только в сооружениях ограниченного срока службы — до 1—2 лет. В более капитальных сооружениях наружные части закапываемых деревянных элементов, находящиеся в пределах переменного воздействия влаги, должны покрываться фтористо-натриевыми «бандажами».

В сооружениях типа навеса следует отдавать предпочтение консольным решениям, обеспечивающим некоторую защиту от косога дождя деревянным крайним опорам.

По количеству пролетов в поперечном сечении навесов и сараев различают нижеследующие основные группы: 1) однопролетные, 2) двухпролетные, 3) трехпролетные и наконец 4) многопролетные.

Однопролетная схема характерна для сооружений небольших масштабов с малыми габаритами. Двух- и трехпролетные схемы обслуживают средние габариты и чаще других встречаются в строительной практике. Многопролетные навесы и сараи в строительной практике применяются только в складских хозяйствах больших размеров. Применяются они значительно реже, потому



что требуют устройства верхнего света и специальных мероприятий по удалению снега.

Продольные и поперечные огнестойкие зоны затрудняют обслуживание грузоподъемными средствами средних пролетов сооружения, удорожая таким образом само сооружение, его оборудование и эксплуатацию.

В зависимости от величины каждого из пролетов различают: 1) малопролетные схемы навесов и сараев до 2—3 м в свету, 2) среднепролетные до 5—6 м, что соответствует нормированной длине лесоматериалов, и 3) большепролетные схемы от 8 до 50 м. Малопролетные решения наиболее характерны для сушильных навесов и сараев. Высушиваемые материалы приходится выдерживать на специальных стеллажах, стойки которых иногда с успехом могут быть использованы как опорные стойки покрытия.

Нормальная длина лесоматериалов является основной причиной того, что деревянные навесы и сараи пролетом в 5—7 м встречаются чаще других типов.

В зависимости от типа нагрузок различают навесы и сараи, воспринимающие только собственный вес и незначительные нагрузки от снега и ветра, и навесы и сараи, которые несут помимо того дополнительные нагрузки от «кошек», кранов, транспортеров.

При расчете навесов и сараев основная нагрузка принимается с учетом снеговых мешков. Учет односторонней снеговой, ветровой и полезной нагрузки (от кошек и кранов) обязателен как в открытых, так и в обшитых свободно стоящих навесах и сараях не только больших, но и малых масштабов.

В зависимости от эксплуатационных сроков использования различаются навесы и сараи:

1) временного значения, полезный срок службы которых определяется всего несколькими месяцами, и

2) постоянного характера, капитальные постройки, находящиеся в эксплуатации в течение ряда лет или даже десятков лет.

Навесы первой группы относятся обычно к IV классу сооружений, в то время как вторые могут быть отнесены к III классу.

Сборно-разборные решения навесов и сараев применяются преимущественно во временных постройках в расчете на многократное использование их в разных местах одной или даже нескольких строек.

При выборе кровельных материалов для покрытия навесов и сараев следует иметь в виду следующие соображения.

Из рулонных кровельных материалов рубероид, рассчитанный на 10 и более лет эксплуатации, должен применяться только для покрытия стационарных навесов и сараев. Временные навесы и сараи при наличии только одинарного дощатого настила должны иметь уклон не менее 20% и обычно покрываются толем с перекрытием продольных (нормально к карнизу) швов рейкой или горбылем. Сборно-разборные навесы и сараи военно-полевого типа нередко покрываются брезентом по жесткому деревянному каркасу. Мелкоштучные кровельные материалы — этернит, череница, щепа и т. п. — для сборно-разборных решений непригодны ввиду трудоемкости их настилки, связанной с большой затратой времени. Значительно лучше в этом отношении крупноштучные кровельные материалы, позволяющие одним элементом перекрыть сразу не менее 1 м<sup>2</sup> площади покры-

тия навеса или сарая. К этой группе кровельных материалов относятся плоская и волнистая асбофанера, специальная кровельная тольфанера (проф. Алексева) и особенно специальные кровельные щиты, заранее заготовляемые и укладываемые в покрытие как ограждающие и вместе с тем как рабочие элементы. Величина наклона и количество плоскостей скатов кровли определяются прежде всего кровельным материалом. Обычно кровельные покрытия навесов и сараев имеют уклон от 5 до 50%. Только при необходимости использования чердачного объема помещения и при мелкоштучном кровельном материале целесообразно иметь схему с более крутой кровлей с наклоном около 100%. Односкатные и двускатные схемы деревянных навесов и сараев получили на практике значительно большее применение, чем многоскатные, применяемые лишь в многопролетных схемах. Навесы всегда имеют холодные покрытия; сараи в зависимости от назначения могут иметь как холодное, так и утепленное покрытие.

Способ освещения внутреннего полезного пространства прежде всего зависит от схемы сооружения: в однопролетных и двухпролетных сараях и навесах преобладает боковое освещение, в многопролетных решениях при значительной ширине в поперечном сечении сараев и навесов иногда возможно устройство верхнего света в виде фонарей. В некоторых случаях сараи могут освещаться через дверные проемы, когда они открыты. Деревянные навесы и сараи, как правило, имеют наружный отвод с кровли атмосферных осадков, только в многопролетных решениях иногда применяется хорошо утепленный внутренний отвод дождевых и талых вод.

## 2. Однопролетные решения навесов и сараев

Схемы основных типовых конструкций однопролетных деревянных навесов и сараев изображены на фиг. 1. Рассматриваемая группа характерна многообразием возможных конструктивных форм. Схемы расположены в порядке последовательной сложности конструктивного решения.

Тип первый деревянного навеса или сарая представляет собой простейшую конструкцию с односкатной кровлей и консолями и может иметь несколько вариантов. Стойки из круглого леса (фиг. 2) устанавливаются по главным осям с шагом  $S$ .

После выверки и наложения верхней обвязки стойки закапываются на глубину  $h$  и хорошо затрамбовываются. У поверхности земли в постоянных навесах и сараях обязательно применение консервирования последующего действия в виде бандажей. Небольшая вертикальная сила, действующая в стойке, может быть передана в плотных грунтах непосредственно через торец, при слабых грунтах стойку необходимо установить на подкладку в виде корытышки, доски, бревна или, что лучше, на постеленный бутовый камень. Верхние обвязки — прогоны из круглых бревен — устанавливаются непосредственно на верхние торцы стоек и скрепляются с ними скобами (фиг. 3); стыки обвязок решаются косым прирубом. Поперечные балки — стропильные ноги — кладутся непосредственно на прогоны и крепятся к ним разворотными скобами. Рабочий настил устраивается из горбылей реек или досок; на него непосредственно ложится

кровля. Прогоны могут быть также сконструированы из досок (фиг. 4), которые крепятся гвоздями или болтом по обе стороны стойки в определенном положении стыков вразбежку. В таком случае и стропильные ноги лучше делать из досок, укрепляемых гвоздями к вкладышам, защемленным в виде прокладок в парном прогоне (фиг. 5). Конструкция рабочего настила зависит главным образом от типа кровельного материала. Рулонные и хрупкошпунные кровельные материалы неизбежно требуют сплошной палубы.

В статическом отношении данная схема представляет собой совокупность элементарных балок и защемленных в земле стоек. Этот тип навеса разработан до составления проекта стандарта, с учетом стандартов лесоматериалов и габаритов схемы. В сараях стены могут иметь разное конструктивное решение, однако более рекомендуемым типом, как показала практика, следует признать простую обшивку горизонтальными досками, прикрепляемыми к стойкам гвоздями с перекрытием «попольски» самих досок в целях предотвращения протекания воды внутрь сарая (фиг. 6).

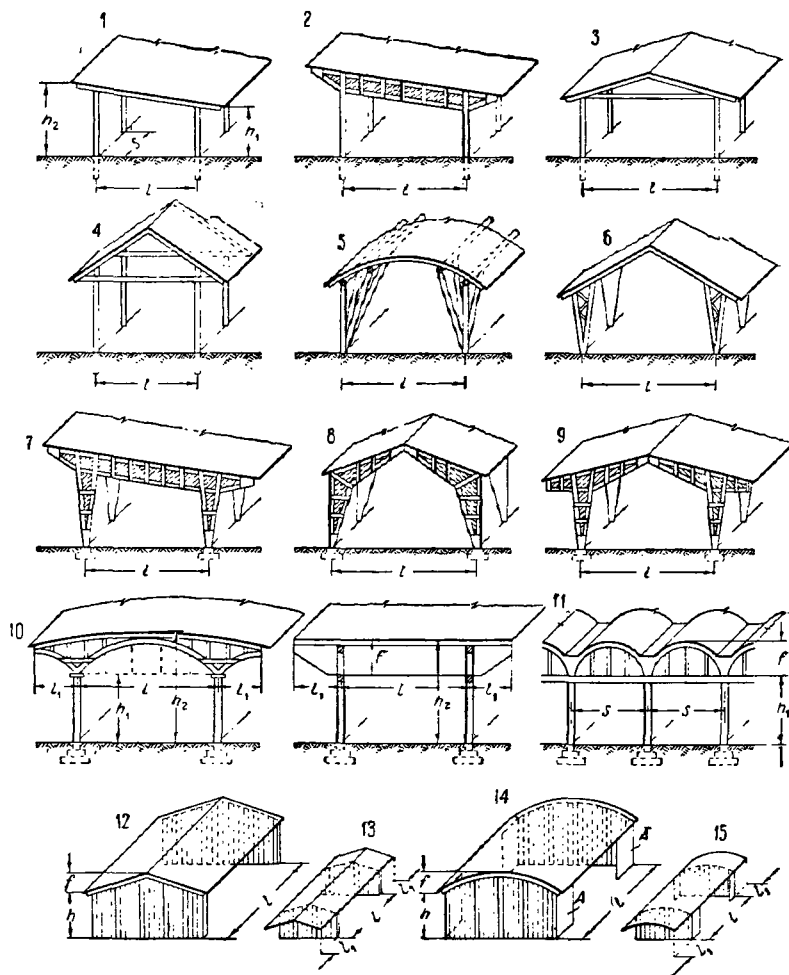
Второй тип (фиг. 4) имеет в покрытии несущую балку двутаврового сечения с перекрестной стенкой на гвоздях и со скошенными консолями. Заменяя деревянные стойки железобетонными и каменными столбами, получим вариант, осуществленный у нас в Союзе во многих местах в сооружениях третьего и четвертого класса.

Третий тип (фиг. 4), детально изображенный на фиг. 7, был впервые осуществлен за эти годы на некоторых строительствах и им пользовались как временные мастерские и цеха по изготовлению различных элементов сборных железобетонных конструкций. Применение тавровых балок с прикрепленным по середине пролета монорейсом для коньки оправдывается увеличенным пролетом сарая. Конструкция работала в течение двух лет весьма удовлетворительно, после чего была разобрана, и тавровые балки были установлены в покрытие здания как рабочие элементы.

Четвертый тип (фиг. 4) представляет собой поставленные через 2 м рамы с затяжками, целиком сконструированные из теса на гвоздях (фиг. 8). Навес этой конструкции является переносным, он собирается секциями длиной 6—8 м каждая. Пространство над затяжкой может служить местом для склада лесоматериалов, низ используется для временных производственных целей. Навес был построен в двух местах; при много-

кратной перестановке пришлось весь разорванный тес заменить кровельной толь-фанерой, что увеличило к тому же пространственную жесткость сооружения. В случае загрузки верхнего яруса досками (для просушки) ноги навеса должны быть скреплены крестами в продольном направлении, хотя бы в крайних пролетах.

Пятый тип (фиг. 1) представляет собой весьма своеобразную конструкцию, изображенную на фиг. 9—12. Навес работает как двухшарнирная рама; каждая нога рамы в основном состоит из

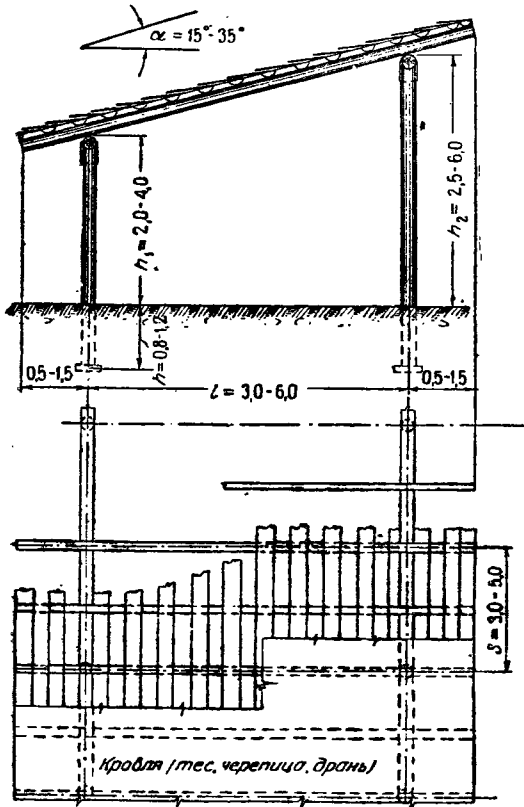


Фиг. 1. Схемы однопролетных навесов

четырёх стоек, расходящихся кверху, образуя опрокинутую пирамиду. Две внешние стойки находятся в вертикальной плоскости, внутренние стойки поставлены в наклонной плоскости. Тесовая кровля пришивается непосредственно к четырем продольным прогонам, связанным со стойками. В то же время тесовая кровля является рабочим элементом, заменяющим собой гнутый ригель рамы.

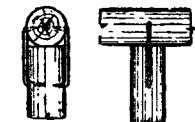
Отдельные тесины пришиваются вразбежку в перекрой с напуском (фиг. 9) и с каждой стороны имеют специальные желобки, которые должны предотвратить затекание дождевых вод внутрь навеса. Вся конструкция одной секции шарнирно опирается на землю в четырех точках.

На фиг. 10 изображен навес рассматриваемого типа в нормальных проекциях; на фиг. 11 и 12 — отдельные конструктивные его детали. Та же схема в виде плоских двухшарнирных рам с гнутым ригелем-кровлей может быть также использована и для сараев, продольная устойчивость которых обеспечивается подкосами в плоскостях



Фиг. 2. Простейший односкатный навес

продольных стен, имеющих нормальную горизонтальную обшивку. Навесы и сараи рассматриваемой конструкции изготавливаются отдельными секциями, которые, как показала практика, довольно легко переносятся в пределах территории строительства. По миновании надобности в навесе или сарае последний легко разбирается, а лесоматериал используется для других целей.

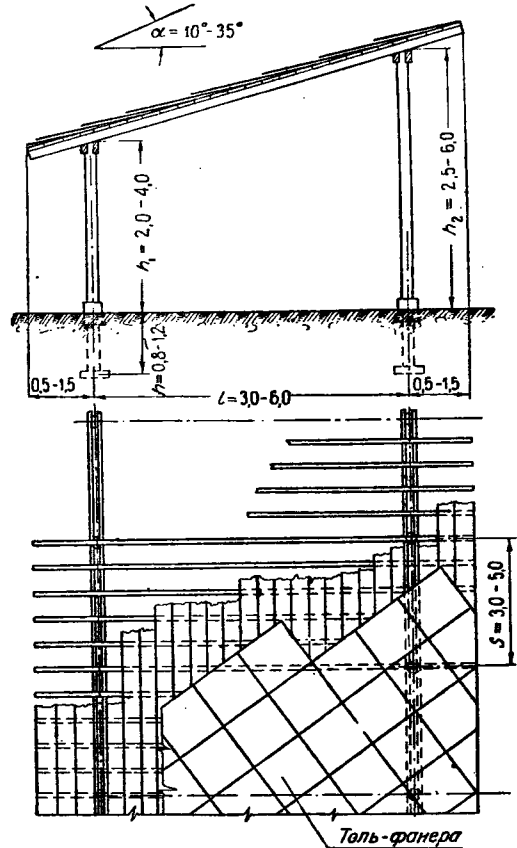


Фиг. 3. Соединение бревенчатых прогонов со стойками (к фиг. 2)

Шестой тип навеса (фиг. 4) представляет собой трехшарнирную схему, сконструированную ва гвоздях из тесин или досок. Ригель рамы состоит из трех-четырех досок, ноги из двух-трех досок, скрепляемых помощью гвоздей. Навес изготавливается отдельными секциями, причем особое внимание обращается на раскрепление ног в продольном направлении. Этот навес был осуществлен на ряде строительных и выявил себя с положительной стороны.

Седьмой тип характеризуется применением в качестве несущей конструкции двухшарнирных

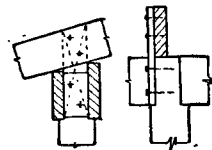
рам двутаврового сечения с перекрестной стенкой на гвоздях. Эта конструкция может быть рекомендована главным образом для навесов и сараев большого масштаба, для складов и т. п.



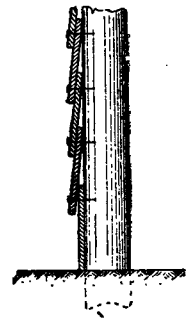
Фиг. 4. Односкатный навес с дощатыми прогонами

Восьмой тип в виде трехшарнирных арок сплошного сечения (фиг. 1 и 13) был осуществлен за эти годы на ряде строительных: под сараи для склада земли, сарай-гаражи на 20—50 машин, тракторные сараи и пакгаузы.

Девятый тип (фиг. 4) имеет трехшарнирную конструктивную схему и двутавровое сечение с перекрестной стенкой на гвоз-

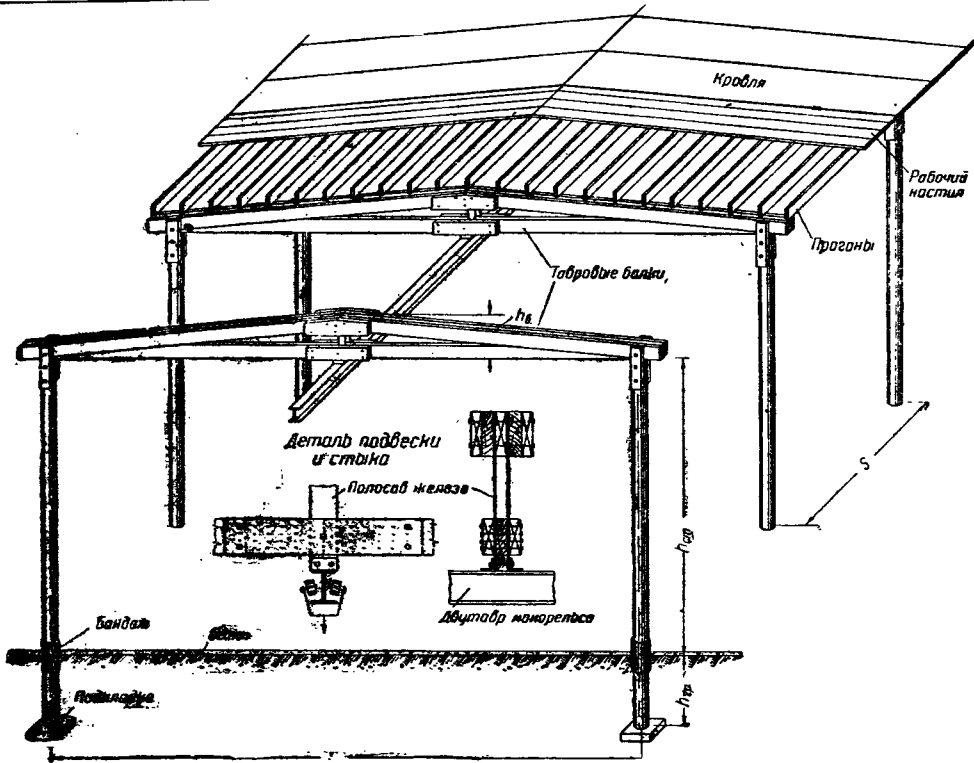


Фиг. 5. Соединение дощатых прогонов со стойками (к фиг. 4)

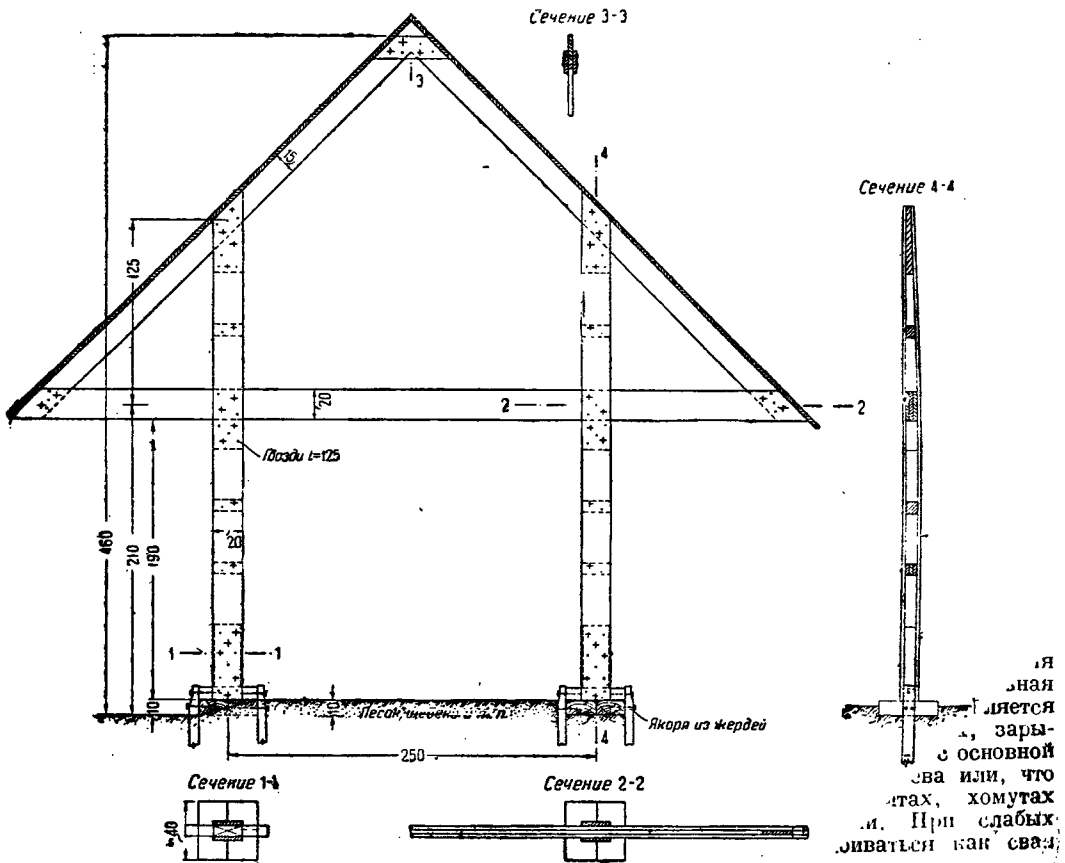


Фиг. 6. Обшивка стоек досками

дях; благодаря наличию консолей эта схема еще более подходит для покрытия навесов. Такие навесы возведены как перронные покрытия и пакга-



Фиг. 7. Покрытие навеса габровыми балками



...ная  
...ная  
...заре-  
...с основной  
...ева или, что  
...атах, хомутах  
...и. При слабых  
...ливается как сваи



фиг. 15), работающих подобно ребрам (серпигидным аркам) ребристых сводов-оболочек. Соединение поясов с решеткой показано на фиг. 16, соединение двутавровой балки с рамами — на фиг. 17 и 18.

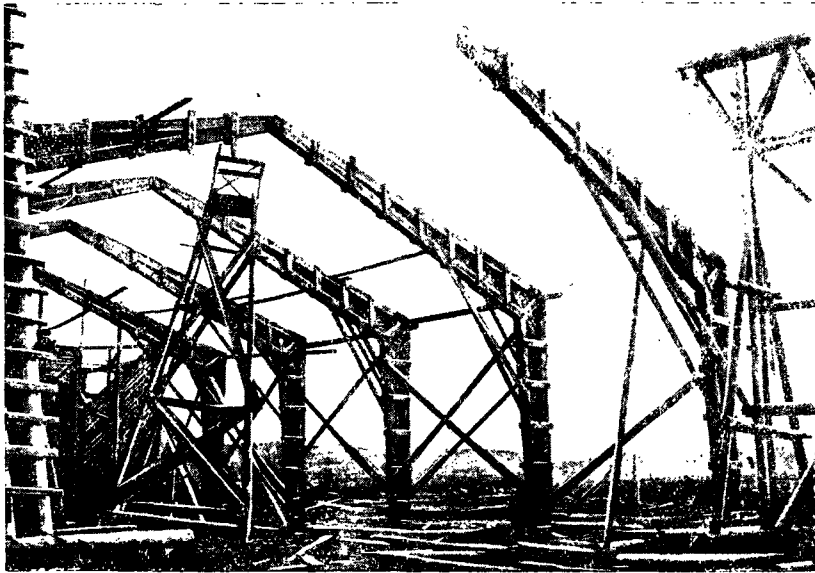
Тринадцатый тип (фиг. 1) также имеет складчатое покрытие, но отличается от предыдущего наличием консолей.

Четырнадцатый тип представляет собой однопролетный навес, перекрытый тонкостенным или

### 3. Двухпролетные навесы и сараи

На фиг. 19 изображены основные типы двухпролетных навесов и сараев. Эта группа менее богата конструктивными формами, однако имеет много возможных сочетаний между собой отдельных конструктивных элементов.

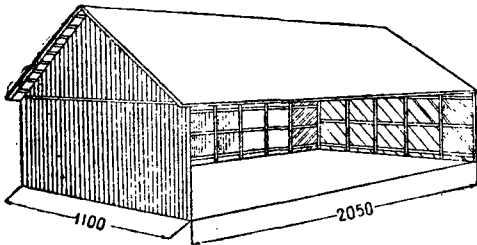
Первый тип (фиг. 19) представляет собой обычный навес из бревен и досок с двускатной наклонной кровлей пролетом 3 — 6 м. На практике



Фиг. 13. Трехарочные арки навгауза

ребристым сводом-оболочкой. При деревянных торцевых стенах устойчивость сооружения обеспечивается работой участков продольных стен *A*, прилегающих непосредственно к торцевым элементам.

Пятнадцатый тип (фиг. 1) отличается от предыдущего наличием у оболочки консолей. Этот



Фиг. 14. Вид сарая-навеса складчатой системы

тип, так же как и тринадцатый, был применен впервые в покрытиях навесов как опытная конструкция в некоторых колхозах и совхозах.

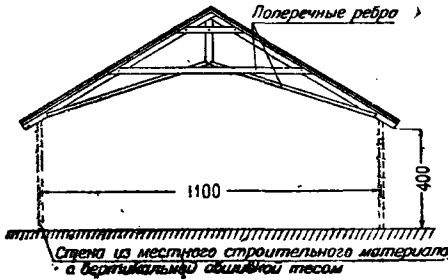
Ребристым формам сводов-оболочек в покрытиях навесов и сараев больших пролетов следует отдавать предпочтение перед тонкостенными формами сводов-оболочек и перед плоскостенными конструкциями вообще.

часто встречаются двухпролетные деревянные навесы и сараи с односкатной кровлей малых пролетов (фиг. 19, тип 3), сконструированные из цельных элементов. В этом навесе имеются два одинаковых по ширине пролета разной высоты, что представляет значительные удобства при эксплуатации. Требованию создания повышенной освещенности в середине общего пролета у среднего ряда колонн удовлетворяет пятый тип навеса (фиг. 19) с разной высотой скатов кровли в каждом пролете. В таких навесах необходимо в верхнем покрытии давать карниз большого выноса и у верхнего борта нижнего ската устраивать специальный вертикальный бортик или даже остекленные перелеты, чтобы защитить среднюю часть полезного пространства от попадания дождя. Все вышеуказанные типы в конструктивном отношении имеют много общего; отдельные детали их показаны на фиг. 20. Наиболее ответственную в отношении загнивания часть деревянных стоек у поверхности земли необходимо защитить «бандажом». В случае отсутствия антисептиков последующего действия основной стойка не доводится до земли, а заделывается в деревянных или железных коротышках, зарытых в землю. Коротышки скрепляются с основной стойкой простой врубкой впоперек или, что лучше, косым прирубом на бортах. Водяных или специальных накладками. В плохих грунтах коротышки могут забивать и забивать

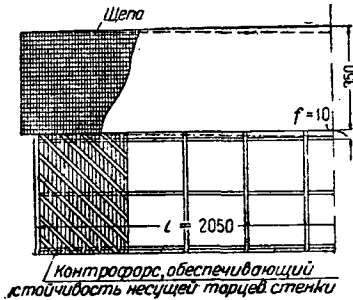
с последующей обрезкой их для соответствующей врубки. Шов врубки проклеивается гидроизоляцией на гудроне, препятствующей прониканию снизу вверх грунтовой влаги. Коротыши периодически могут быть заменены новыми.

В железнодорожном строительстве для перронных покрытий и навесов широко применяется

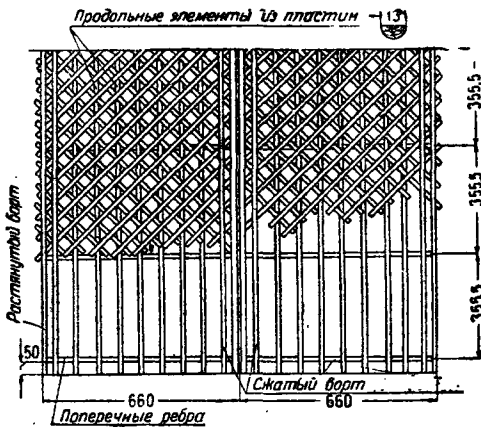
типу конструкции необходимо отнести также вариант навеса и сарая, изображенный на фиг. 22, имеющий наслонную стропильную конструкцию с деревянным покрытием и коньковым треугольным фонарем. Нижняя подвальная часть, используемая как складское помещение, перекрывается обычного типа междуэтажными пере-



а)

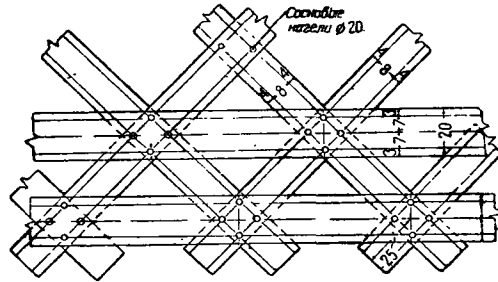


б)

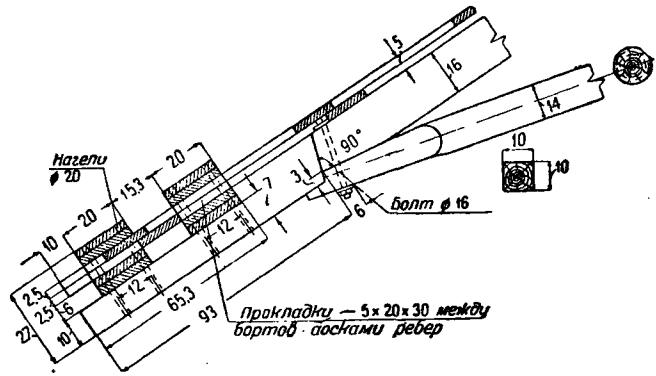


в)

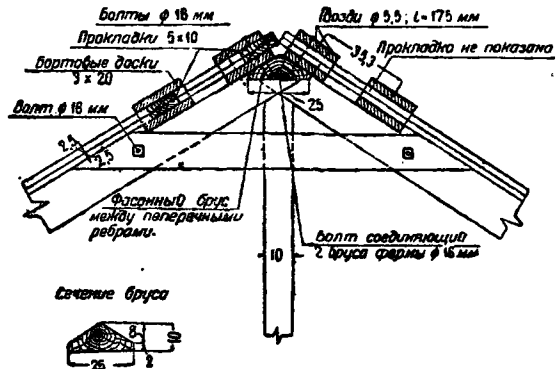
Фиг. 15. Конструктивная схема сарая



Фиг. 16. Соединение нижнего пояса склада с решеткой



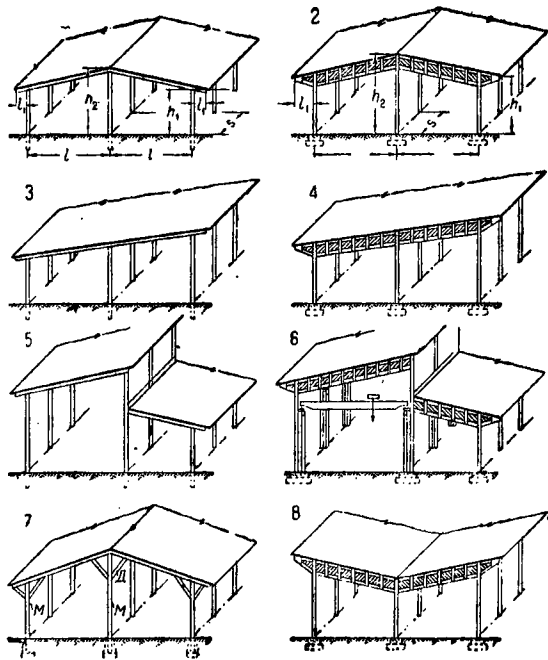
Фиг. 17. Разрез по нижнему поясу склада



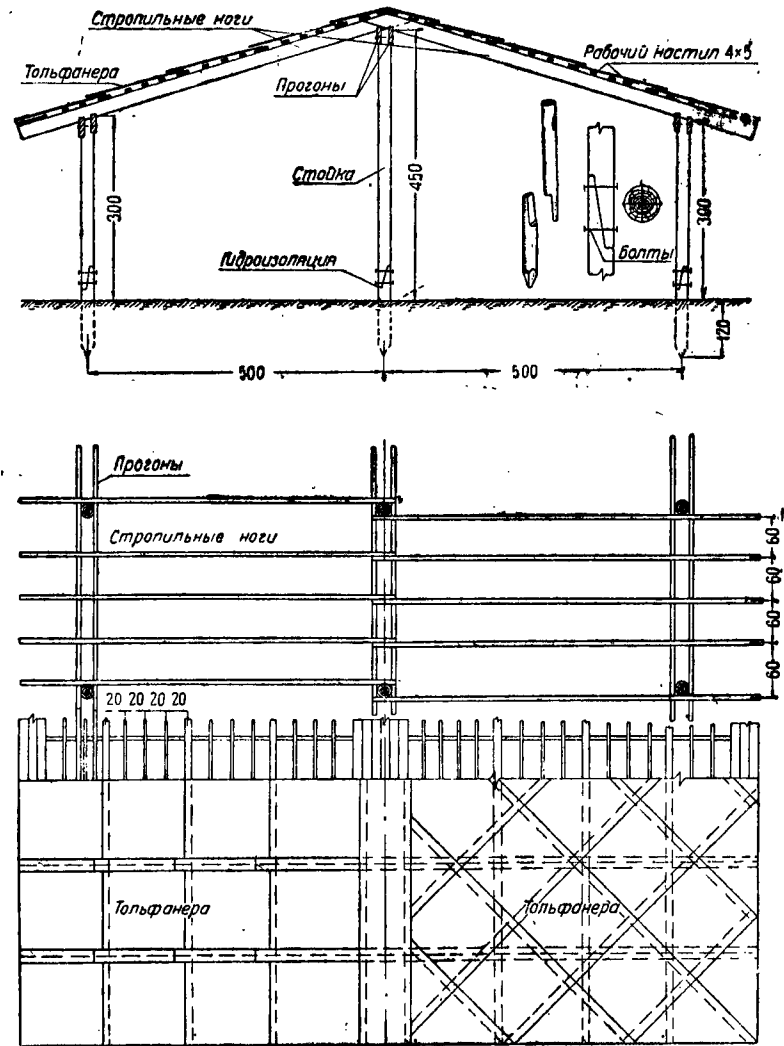
Фиг. 18. Разрез по верхнему поясу склада

двухпролетная схема (фиг. 19, тип 7) с двускатной деревянной кровлей с подкосами, поддерживаемая металлическими стойками, сконструированными в виде заанкеренных в бетонных фундаментах старых отработавших рельсов (фиг. 21). Навесы этого типа нередко покрываются не железной кровлей, а асбестовой, асбофанерной, сланцевой или черепичной, часто встречающейся в южных районах СССР. К рассматриваемому

крытиями, например в виде деревоплиты. Разобранные выше четыре основных типа двухпролетных деревянных навесов и сараев применяются только при малых пролетах, не превосходящих длины нормального сортамента лесоматериалов. При больших пролетах двухпролетные навесы могут быть удачно осуществлены с применением в качестве несущих элементов балок двутаврового сечения с перекрестной стено-

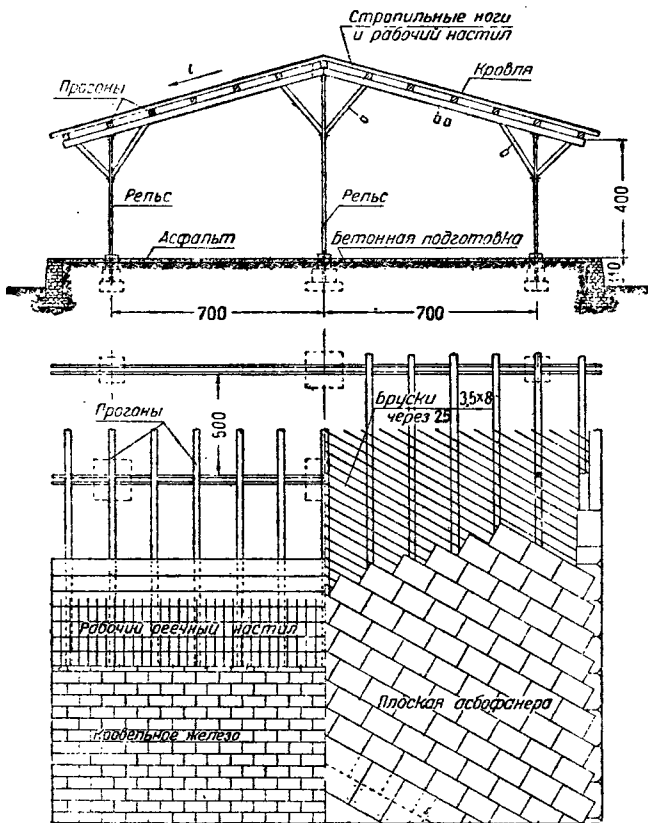


Фиг. 19. Схемы двухпролетных навесов

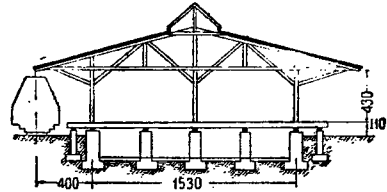


Фиг. 20. Простейший двухпролетный двускатный навес

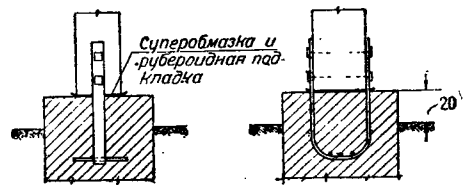




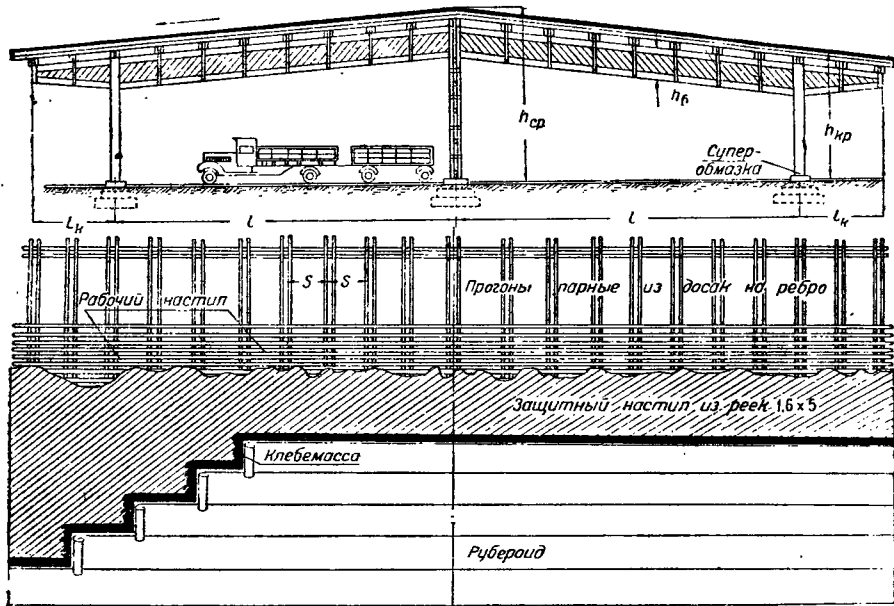
Фиг. 21. Двускатный навес железнодорожного типа



Фиг. 22. Железнодорожный навес с верхним светом



Фиг. 23. Соединение стоек с каменными опорами

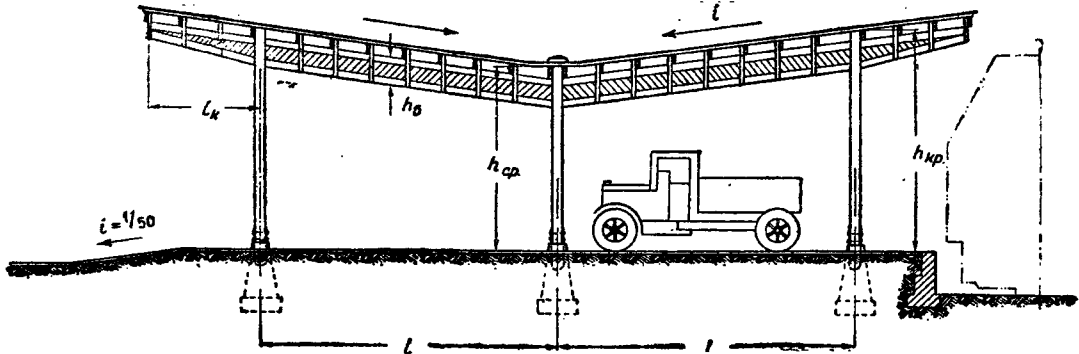


Фиг. 24. Двускатный навес большого пролета

кой на гвоздях (фиг. 19, типы 2, 4, 6, 8) пролетом 8,0 — 13,0 м. При конструировании опор этих навесов помимо применения рельсовых коротышей рекомендуется шарнирное опирание стоек на бетонно-каменные фундаменты с приподнятой на 15—25 см выше уровня чистого пола надежно изолированной пяткой (фиг. 23).

от друга главным образом архитектурными формами.

Помимо простейших систем (фиг. 27, типы 1—7) в трехпролетных схемах вполне применимы рамные конструкции. Средний основной пролет нормально решается в виде трехшарнирной рамы двутаврового сечения с перекрестной стенкой

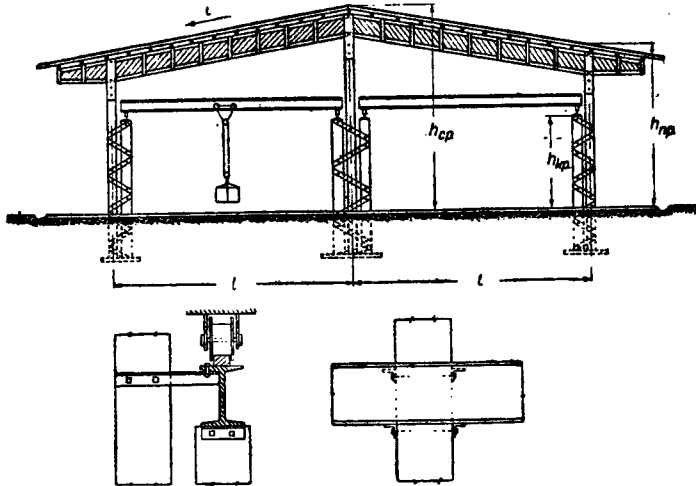


Фиг. 25. Железнодорожный навес с внутренним отводом воды

На фиг. 24 показан двускатный навес с наружным отводом воды над стоянкой тракторов и автомобилей. Подобный навес для перронных покрытий, в которых желателен внутренний отвод воды, изображен на фиг. 25. Используя подобные навесы и сараи под временные производственные мастерские, следует нагружать от легких кранов мостового типа воспринимать специальными стойками, устанавливаемыми

(фиг. 27, тип 8); к ней примыкают по обеим сторонам двухшарнирные Г-образные рамы, могущие иметь также иные размеры, чем средний основной пролет.

На фиг. 28 приведены две конструкции навесов, вторая является более рекомендуемой для значительных перронных покрытий. Основным достоинством рамного типа каркаса (двутаврового сечения с перекрестной стенкой на гвоздях



Фиг. 26. Мастерская для изготовления сборных железобетонных конструкций

рядом с основными стойками, несущими кровельное покрытие. На фиг. 26 приведена подобная схема конструкции производственной мастерской для завода сборных железобетонных конструкций<sup>1</sup>.

#### 4. Трехпролетные навесы и сараи

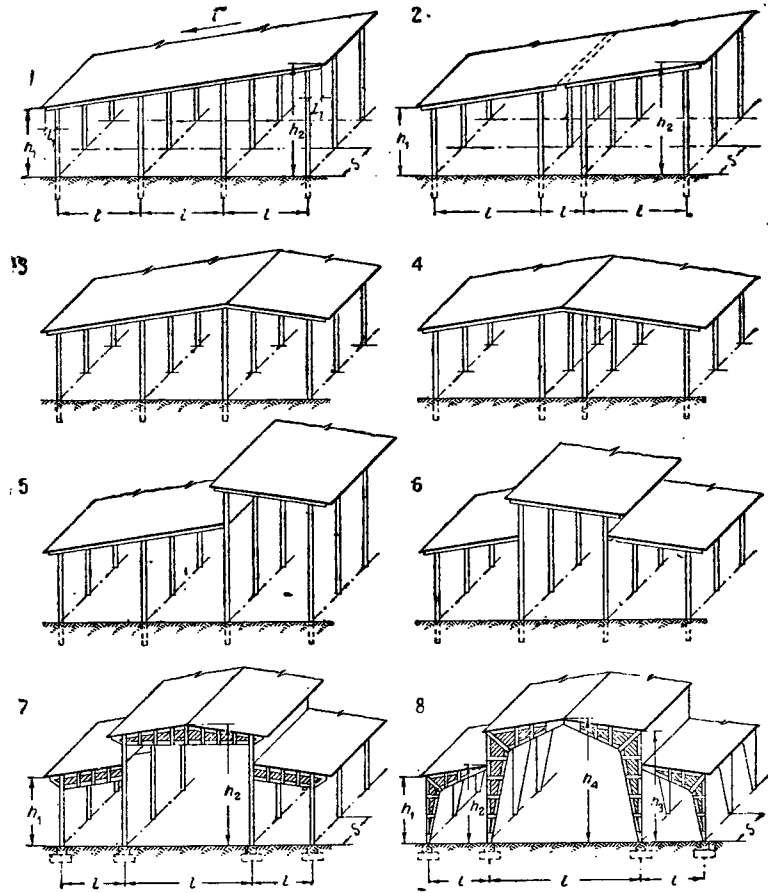
Эта группа деревянных навесов и сараев (фиг. 27), так же как и предыдущая, имеет несколько конструктивных решений при значительном количестве возможных схем, отличающихся друг

для покрытия деревянных навесов и сараев следует считать большую устойчивость всего покрытия, компактность конструктивных форм, повышенную огнестойкость сплошного двутаврового сечения, возможность осуществления сборно-разборных схем и, как показал опыт проектирования, несколько меньший расход пиломатериалов.

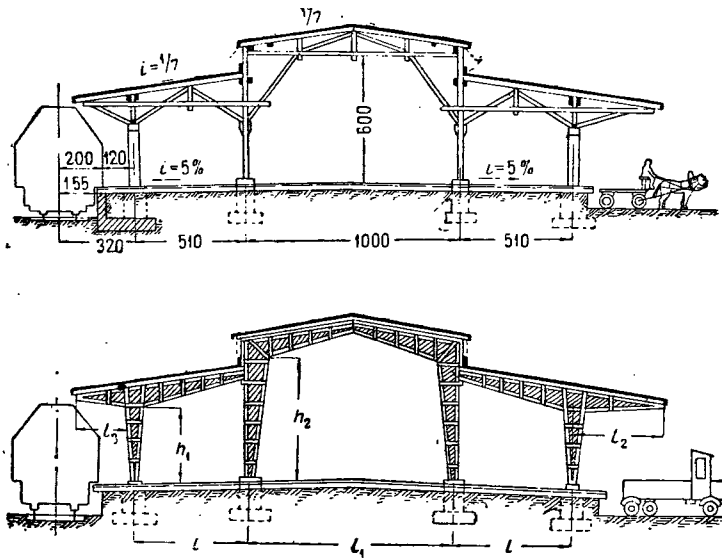
#### 5. Многопролетные навесы и сараи

Основные схемы навесов многопролетного типа приведены на фиг. 29. В конструктивном отношении они мало отличаются от двух- и трех-

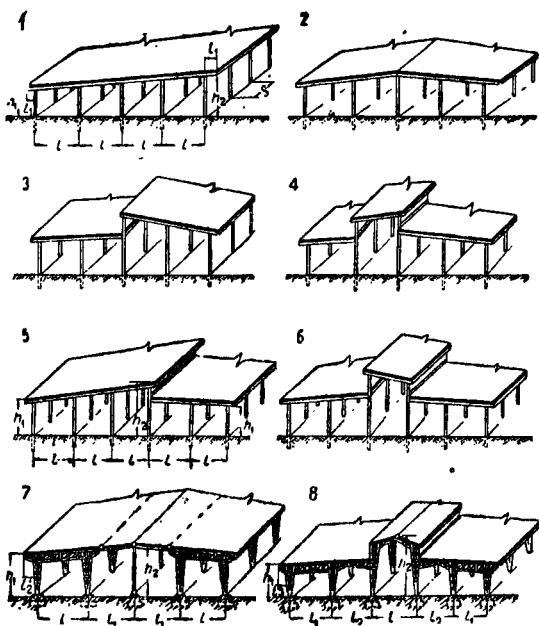
<sup>1</sup> По проекту автора.



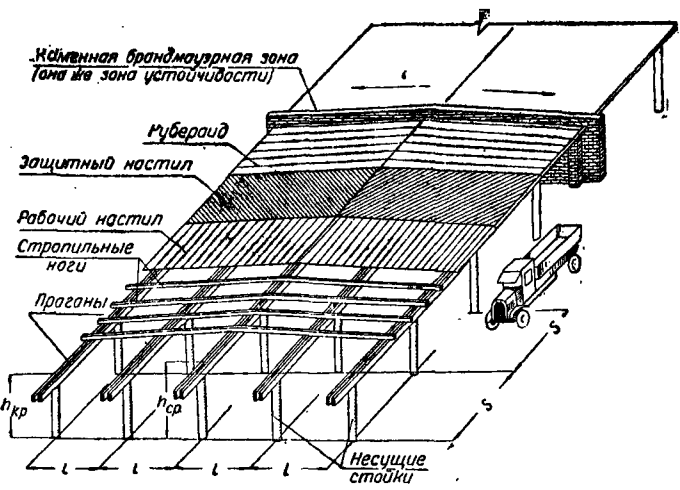
Фиг. 27. Схемы трехпролетных навесов



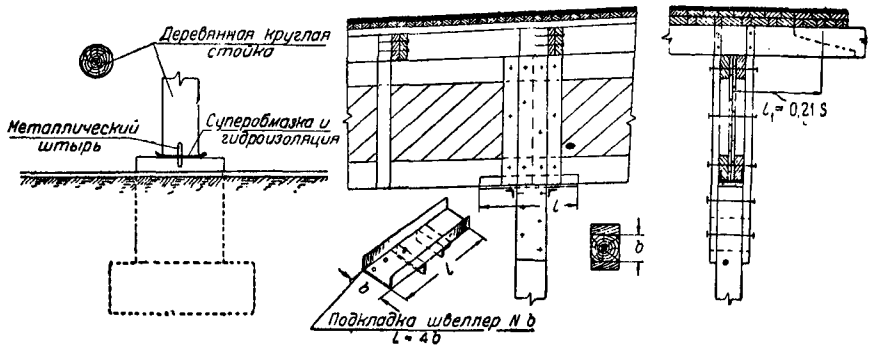
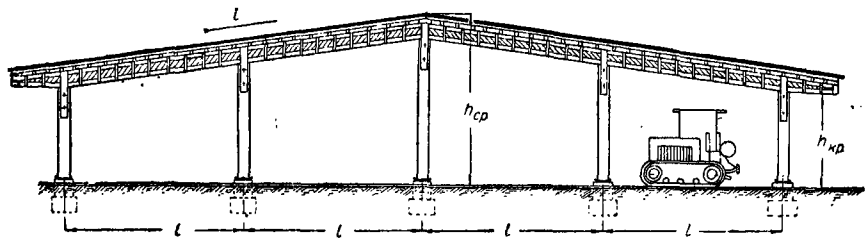
Фиг. 28. Два типа арочных конструкций навесов



Фиг. 29. Схемы многопролетных навесов



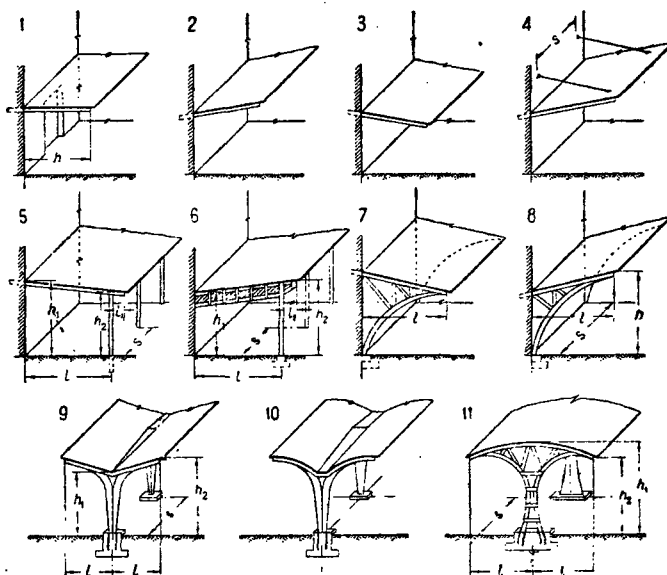
Фиг. 30. Многопролетный навес с кровлей-диафрагмой при малых пролетах



Фиг. 31. Многопролетный навес с кровлей-диафрагмой при больших пролетах

пролетных навесов и сараев. Наиболее характерны для многопролетных деревянных навесов и сараев двускатные схемы с повышенной средней ячейкой. Применительно к складским помещениям пролет с повышенной высотой часто используется для проездов, для производства ряда складских операций и передачи полевых грузов с помощью кранов и «кошек». В качестве примера на фиг. 30 показана конструкция четырехпролетного деревянного двускатного навеса простейшего типа применительно к складам сельскохозяйственного инвентаря, спроектированная как стандартное решение для массового строительства в совхозах и для машинотракторных станций. На фиг. 31 изображена аналогичная схема четырехпролетного двускатного деревянного навеса большого пролета с несущими

балками двутаврового сечения. Особенностью этих конструкций являются деревянные стойки, закрепленные в покрытии, сконструированном в виде жесткой горизонтальной пластинки-диафрагмы и заанкеренной в каменных брандмауерных стенах. Последние три типа (9, 10 и 11) представляют собой характерные примеры свободно стоящих навесов перронного типа, работающих как консоли, заземленные в фундаментном массиве. Каждое звено навеса состоит из пары полуарок с единым анкерным креплением.



Фиг. 32. Схемы козырьковых и консольных навесов

балками двутаврового сечения. Особенностью этих конструкций являются деревянные стойки, закрепленные в покрытии, сконструированном в виде жесткой горизонтальной пластинки-диафрагмы и заанкеренной в каменных брандмауерных стенах.

## 6. Консольные и козырьковые навесы

Основные схемы деревянных навесов козырькового и консольного типа приведены на фиг. 32. Первые три схемы представляют собой простейшие консольно-козырьковые навесы малого вылета в пределах 1—4 м, возводимые обычно над входами и выходами из помещений. Рабочие элементы навесов жестко заземляются в гнездах, оставляемых в наружных стенах. Схема 3 с наклоном покрытия от здания, позволяю-

щая легко отводить наружу дождевые воды, имеет преимущество перед двумя первыми. При больших вылетах козырьков можно рекомендовать подвешивание их на растянутых металлических тросах по схеме 4. Однако уже при шестиметровом пролете обычно необходима установка ряда стоек, поддерживающих свободные консоли этих навесов (схема 5). При необходимости перекрытия еще больших пролетов — от 10,0—13,0 м — в качестве несущего элемента покрытия могут быть применены балки составного сечения консольного типа (по схеме 6). Наличие ряда стоек в этих навесах является с архитектурной точки зрения значительным их недостатком; в этом отношении схемы 7 и 8 являются лучшими. Навесы по типу 7 и 8 могут быть осуществлены при вылете консоли до 15 м.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Проф. Карлсен Г. Г. и инж. Сливинский С. А., Временные складские помещения, «Строит. пром.» № 9, 1933 г., стр. 54—56.
2. Нефедов Г. и Юдин Г., Складское дело, изд. Книгосоза, 1927 г., стр. 256.
3. Положение о складах Военного ведомства.
4. Сатаров, Техника хранения товаров, 1925 г.
5. Вунге Н. Х., Товарные склады и варианты.
6. Чупров А. И., Товарные склады и их значение.
7. Селхозстройпроект, Типовые проекты сараев для тракторов, с.-х. инвентаря, склады овощей и т. п., 1930—1934 гг.

Инж. Г. А. ШТЕЙМАН

## II. СКЛАДЫ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

### 1. Общие указания

Значительную долю материалов, хранимых в крытых складах, составляют сыпучие материалы. Несмотря на равнообразие своих технологических свойств, эти материалы позволяют разработать типовые решения конструкций складов. Благодаря развитию механических приспособлений для непрерывного транспортирования сыпучих материалов в различных направлениях и быстрой их выгрузки перечень материалов, хранимых россыпью, для которых возможно применение этих типовых конструкций складов, может быть значительно расширен.

Рассматривая различные типы складов, можно установить, что ограждающие части склада сыпучих материалов могут получить развитие в вертикальном или горизонтальном направлениях. Соответственно этому различают: 1) горизонтально-протяженные склады и 2) вертикально-протяженные склады (силосы). Ниже рассматриваются только склады первой группы.

При проектировании складов сыпучих материалов необходимо учитывать следующие специфические требования:

1. При малой емкости погонной единицы склада приходится совмещать склады большой осевой протяженности, требующей соответствующей длины транспортных путей. Поэтому следует стремиться к возможному увеличению емкости погонной единицы длины склада, не превышая при этом допустимой высоты насыпи. Кроме того при обычных конструкциях складов насыпь большой высоты требует тяжелых подпорных стенок, поэтому необходимо найти склад таких габаритов, который соответствовал бы габариту хранимого материала, не имел бы лишних объемов и при большой емкости имел минимальные размеры оболочки.

Механизация складов — один из наиболее дорогих его элементов — заставляет проектировать такие склады, в которых механизмы работали бы с наименьшим расходом энергии; для этого при складах большой протяженности выгрузка и загрузка должны производиться так, чтобы механизмы, движущиеся в продольном направлении, обслуживали склад по всей его ширине, без добавочного поперечного перемещения материала.

2. Конструкция складов должна допускать возможность расширения склада без нарушения его производственных функций.

3. Стоимость ограждающих частей склада должна ложиться минимальным накладным расходом на стоимость хранимого материала.

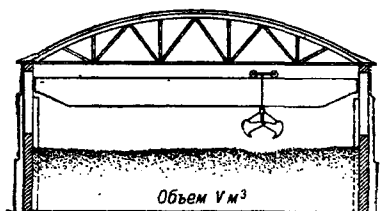
### 2. Основные схемы ограждающих частей склада

Основные схемы горизонтальных складов сыпучих материалов можно подразделить на два основных типа. Тип 1 (фиг. 1а) представляет собою здание прямоугольного очертания в плане с вертикальными стенами и горизонтальным полом, расположенным на уровне земли; боковые

стены, несущие кран и воспринимающие распор хранимого в складе сыпучего материала, работают как подпорные стенки. Склад механизмуется мощным мостовым краном, снабженным тележкой с грейфером.

Такой тип склада при малых пролетах обладает небольшой емкостью. Увеличение его емкости путем увеличения высоты приводит к чрезмерному утолщению боковых подпорных стенок.

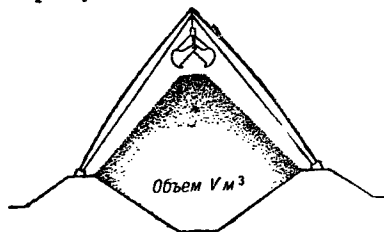
Увеличение же емкости за счет изменения пролета значительно утяжеляет покрытие и конструкцию крана, усложняет и удорожает механизацию и увеличивает расходы по транспортированию материала.



Фиг. 1а. Схема балочного покрытия склада

Все это заставляет привлекать такой тип механизированного склада мало применимым для хранения сыпучих материалов.

Тип 2 (фиг. 1б) представляет собою двускатный шатер, состоящий из трехшарнирного деревянного сборного остова, несущего крутую крышу.



Фиг. 1б. Схема арочного покрытия склада

По сравнению с рассмотренным типом 1 такое решение дает следующие преимущества.

1. Форма покрытия внутри вполне соответствует габариту и углу естественного откоса хранимого в складе сыпучего материала. В то же время благодаря крутизне наружных скатов она почти не загружается снегом.

2. Отдельные элементы легкой трехшарнирной конструкции покрытия изготавливаются на стройзаводах и весьма просто и быстро собираются на месте постройки; установка на месте таких арок осуществляется при помощи одной матчи, без дополнительных лесов.

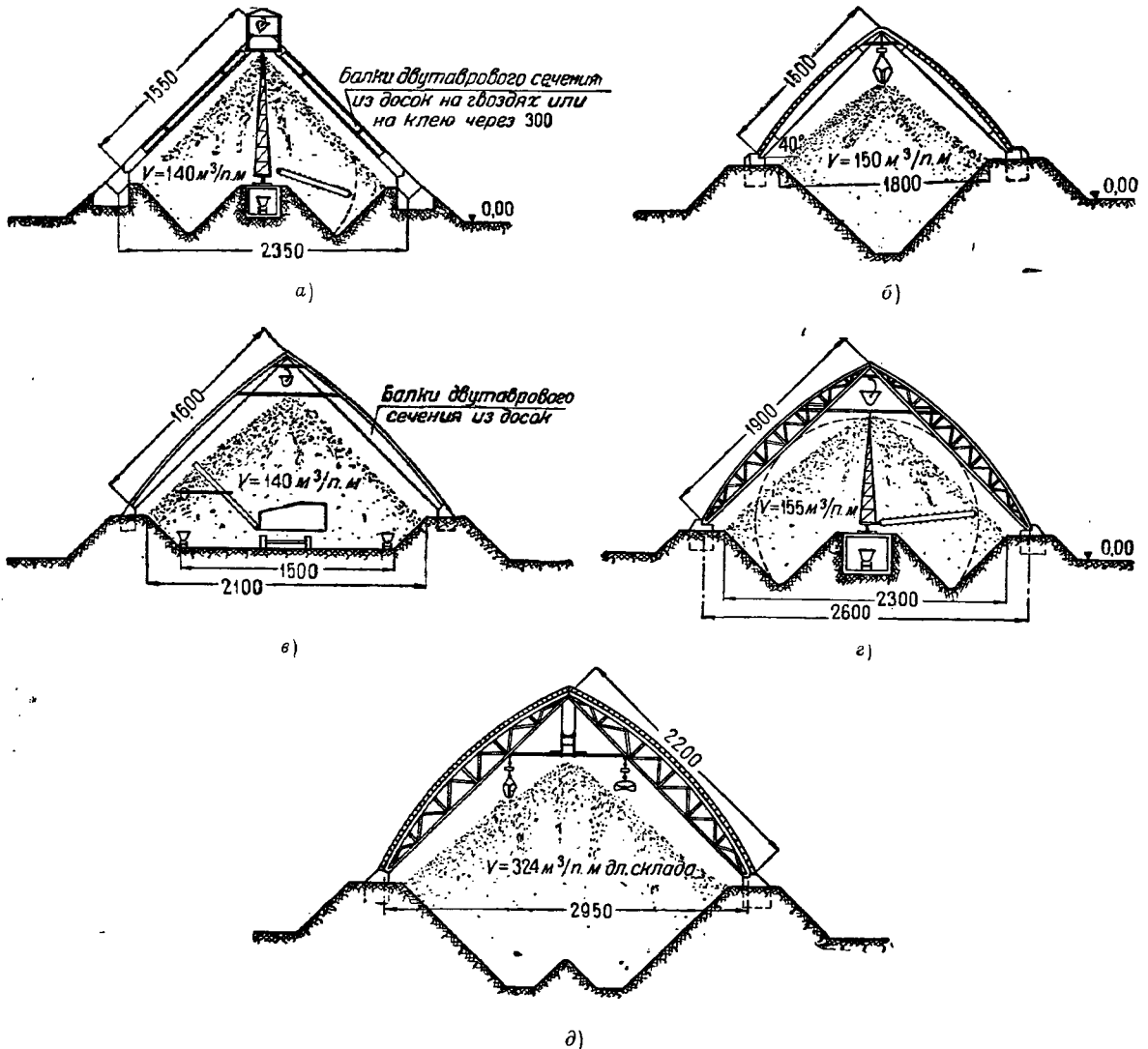
Применение железобетонных сборных фундаментов из отдельных элементов сводит все работы по постройке склада к земляным работам и монтажу заготовленных заранее на заводе отдельных элементов.

Для временных складов с небольшим сроком эксплуатации можно применять деревянные креовотированные фундаменты, еще более упрощающие и удешевляющие строительство.

3. Продольный конек двускатного склада обеспечивает надежную и весьма конструктивную подвеску путей погрузочных и разгрузочных приспособлений (ленточных транспортеров, грейферных кошек, подвесных вагонеточных дорог и пр.).

несения склада на другое место при истощении карьера, расширении завода и т. п.

6. Форма склада допускает осевую загрузку и выгрузку материала. Транспортирующее приспособление (грейферная кошка, транспортер и т. п.), расположенное под коньком склада, имеет только продольное движение, обслуживая при этом любую точку склада, и не требует дополнительного поперечного перемещения материала.



Фиг. 2. Схемы арочного покрытия

4. Устройство вдоль всего склада котлована с наклонными стенами не круче  $45^\circ$  улучшает условия разгрузки склада, устраняя необходимость в поперечном перемещении хранимых материалов.

Устройство котлована осуществляется наиболее рационально путем насыпки вдоль склада земляных валов из земли, вынутой из внутренней части склада (фиг. 16).

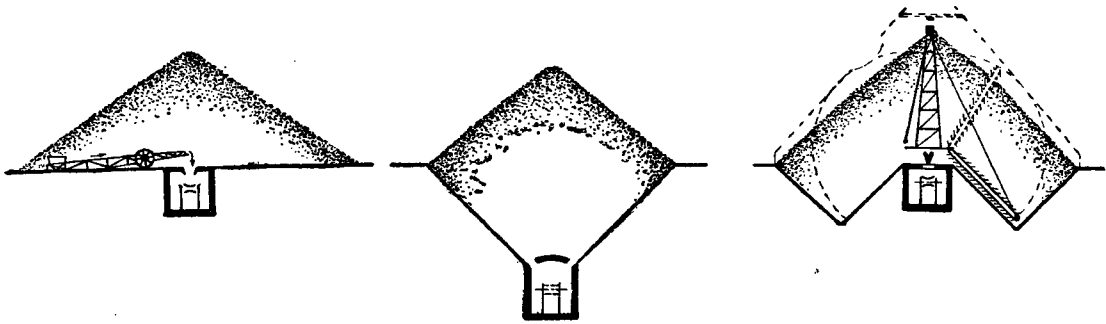
5. Такая конструкция склада допускает многократное использование покрытия в случае пере-

### 3. Конструкция покрытия двускатных складов

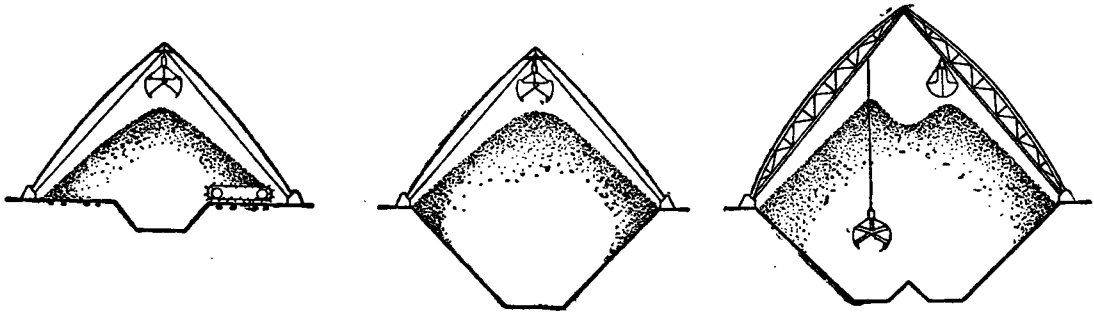
В большинстве случаев конструкция покрытия склада и опорных частей его определяется типом транспортирующего оборудования.

Наиболее рациональной конструкцией покрытия склада является трехшарнирная треугольная распорная деревянная конструкция, элементы которой имеют следующие формы.

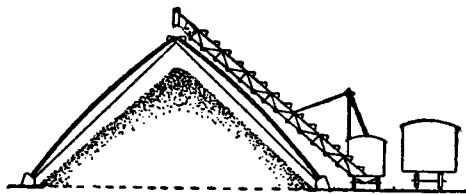




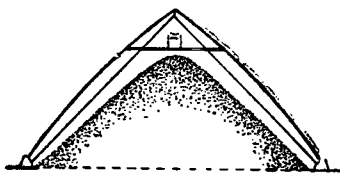
а) Нижний тоннель с транспортером и поперечные подвижные транспортеры    б) Нижний тоннель с транспортером или вагонетками    в) Кратцер  
Схемы различных устройств дна склада при нижнем шунтеле



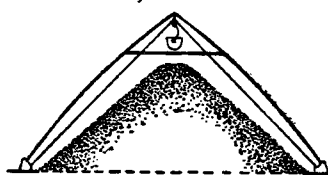
е) Кошка с грейфером и скребковый транспортер    е) Кошка с грейфером    д) Две кошки с грейфером  
Схема различных устройств дна склада при выгрузке грейфером



1) Боковая загрузка ковшевым или пневматическим элеватором  
Схема загрузки склада наружным транспортером



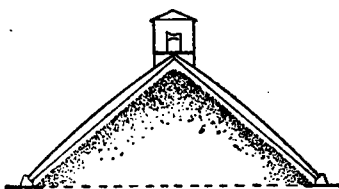
2) Ленточный транспортер (в складе)



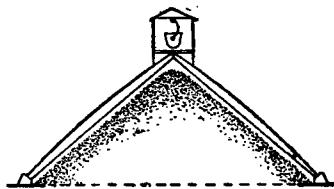
3) Подвесная дорога (в складе)



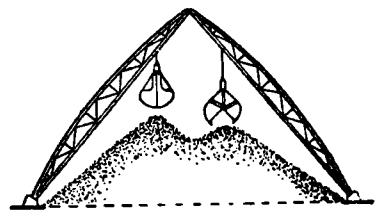
4) Кошка с грейфером



5) Ленточный транспортер (в галлерее)



6) Подвесная дорога (в галлерее)



7) Две кошки с грейферами

Фиг. 3. Схемы покрытий складов при различных способах загрузки

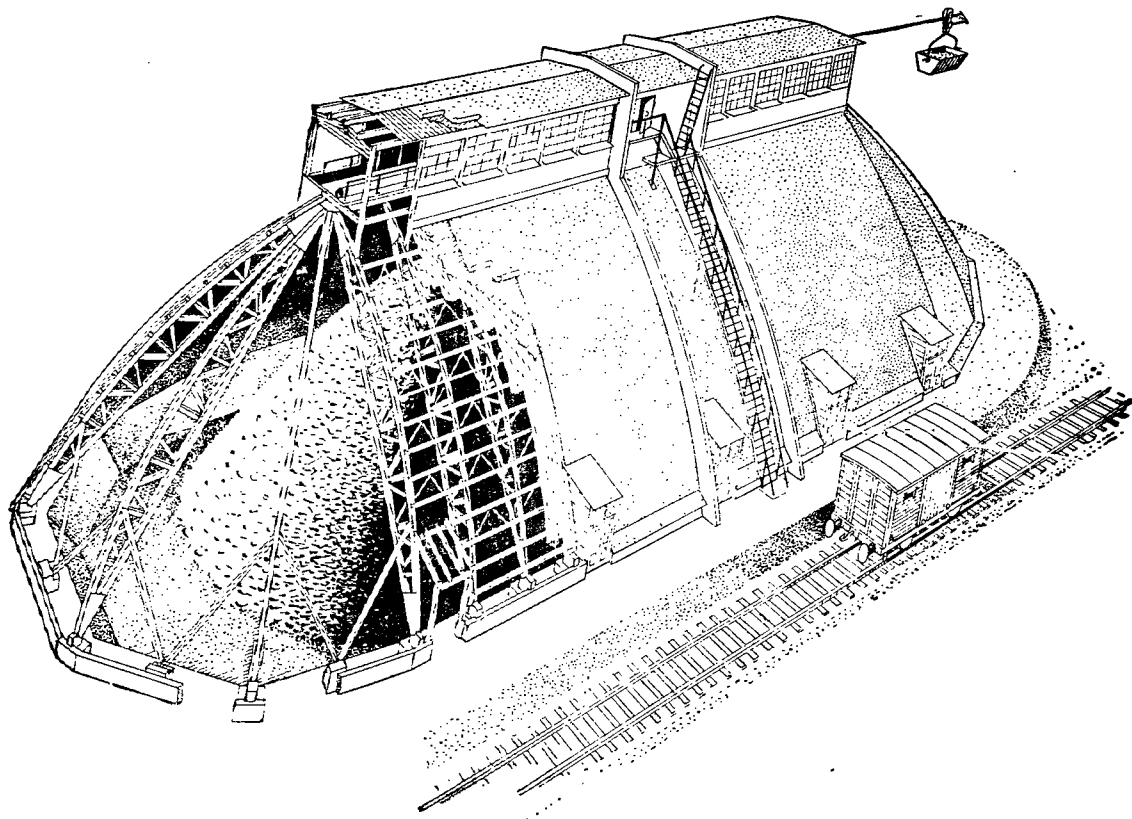




При пролетах до 10 м — простые доски на ребро или брусья; для теплых складов малых пролетов покрытие легко осуществляется из «коробчатого настила», поставленного наклонно в распор.

При пролетах до 20 м — арки из двутавровых балок на гвоздях (или на клею) (фиг. 2, а, б, в), а также из балок на пластинчатых нагелях.

двух котлованов (схемы в и е фиг. 3), необходимо выравнивать «земляной баланс», т. е. землю, вынутую при рытье котлована, использовать для земляных валов, служащих основанием под фундаменты конструкции покрытия. Это дает возможность, не сокращая емкости склада, уменьшить глубину его дна и существенно сократить количество земляных и фундаментных работ.



Фиг. 6. Склад сухого жома

При пролетах более 20 м — трехшарнирные и метчатые арки (фиг. 2, г, д).

Возможно также применение двухшарнирных рам со сплошной или решетчатой стенкой на гвоздях. Однако такое решение обычно получается более сложным в части монтажа конструкции.

Верхняя галерея для транспортера может быть вынесена под коньком покрытия, как показано на схеме 5 и 6 (фиг. 3), или вписана в габарит склада (схемы 2 и 3). Первое решение позволяет принимать для выгрузки грейфер, рельсовый путь которого укрепляется в коньке.

При выгрузке материала с помощью кратцера, имеющего нижний и верхний направляющий рельсы, выгоднее транспортную галерею размещать в пределах габарита покрытия. В этом случае верхний направляющий рельс кратцера укрепляется к балкам транспортной галереи, и высота мачты кратцера может быть уменьшена (схема в фиг. 3).

Если нижняя часть склада выполнена в виде одного котлована (схемы б и д фиг. 3) или в виде

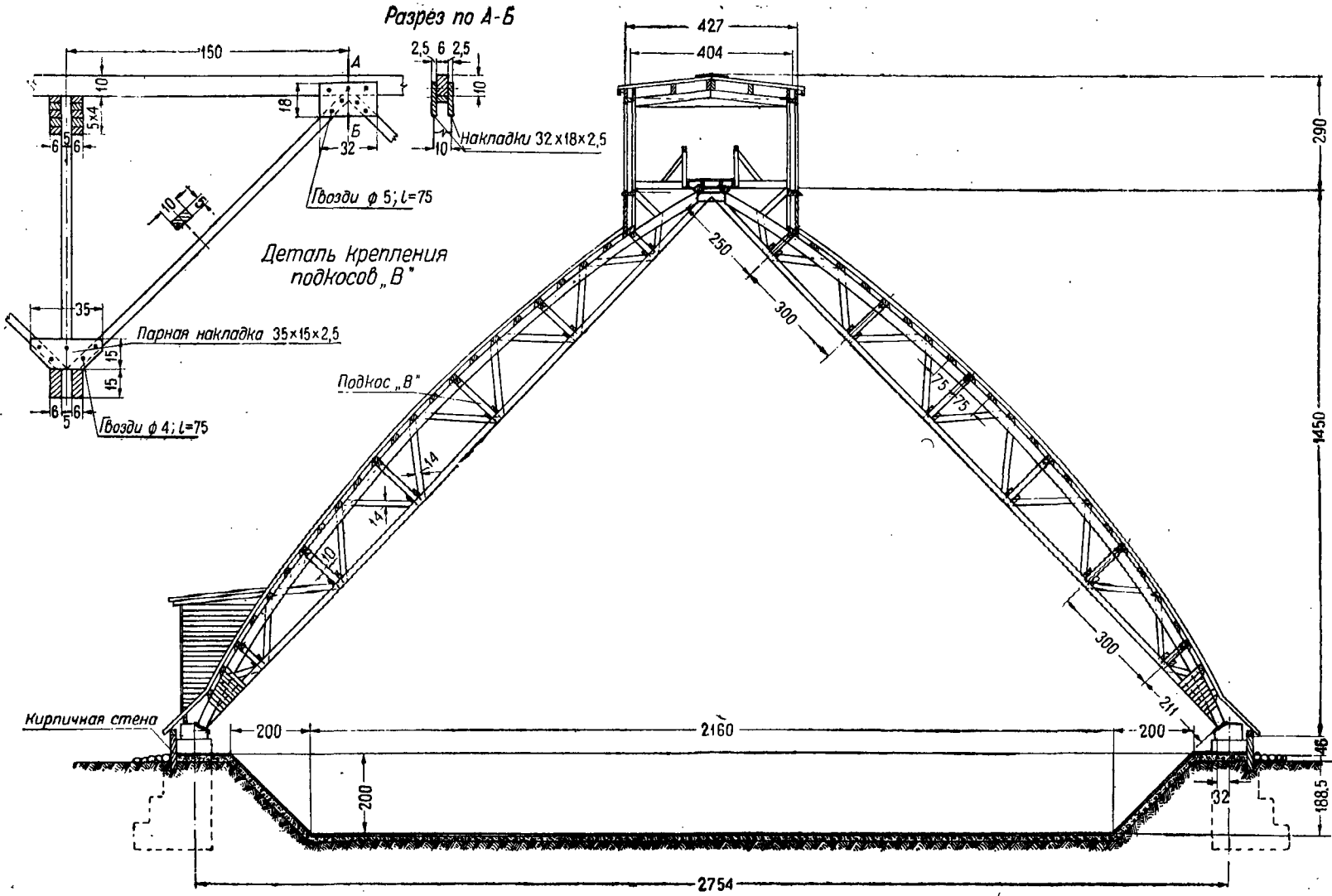
#### 4. Примеры покрытий складов сыпучих материалов

Примером склада малых пролетов может служить склад, изображенный на фиг. 4. Покрытие осуществлено в виде трехшарнирной арки, составленной из двутавровых балок с цельной стенкой на гвоздях. Двутавровые балки этого типа конструируются без стыков.

Из этих соображений длина балки была принята равной 7 м соответственно максимальной длине пиленого лесоматериала по стандарту.

В целях сохранения принципа сборности покрытие запроектировано из кровельной фанеры. Рельсовый путь укрепляется болтами, пропущенными через две коньковых колодки. Фундаменты выполнены в виде железобетонных мауэрлатных подушек Г-образного сечения, уложенных по гребням боковых земляных валов (при песчаном грунте).

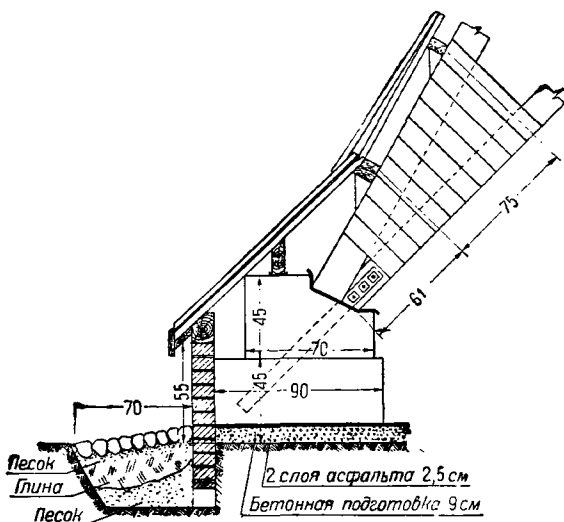
Во избежание выпучивания фундаментов при глинистых грунтах под железобетонной подушкой должна быть дана песчаная или щебенчатая



Фиг. 7. Поперечный разрез по складу и детали связей (и фиг. 6)



подсыпка при тщательном удалении атмосферных осадков. Склад освещается фонарем, расположенным вдоль конька покрытия по всей



Фиг. 9. Конструкция опоры к фиг. 6

длине здания. Переплеты фонаря сделаны глубокими. Склад вентилируется через специальные люки по обеим продольным сторонам склада.

Крышки люков свободно ложатся на кровлю и позволяют легко открывать и закрывать отверстия; чтобы устранить протекание воды в помещение склада с боковых сторон люка, кровельная фанера в этих местах несколько приподнята. В случае необходимости склад может быть утеплен подшивкой с внутренней стороны утепляющего слоя из камышитовых или соломитовых матов.

Примером сквозной конструкции покрытия может служить склад (фиг. 5) пролетом 28,5 м. Несущей конструкцией склада служат трехшарнирные арки, состоящие из двух сегментных ферм (каждая длиной 20 м), поставленных через 3 м.

Узловые соединения запроектированы на зубчато-кольцевых шпонках, что не вызывает необходимости ввиду незначительных усилий в решетке.

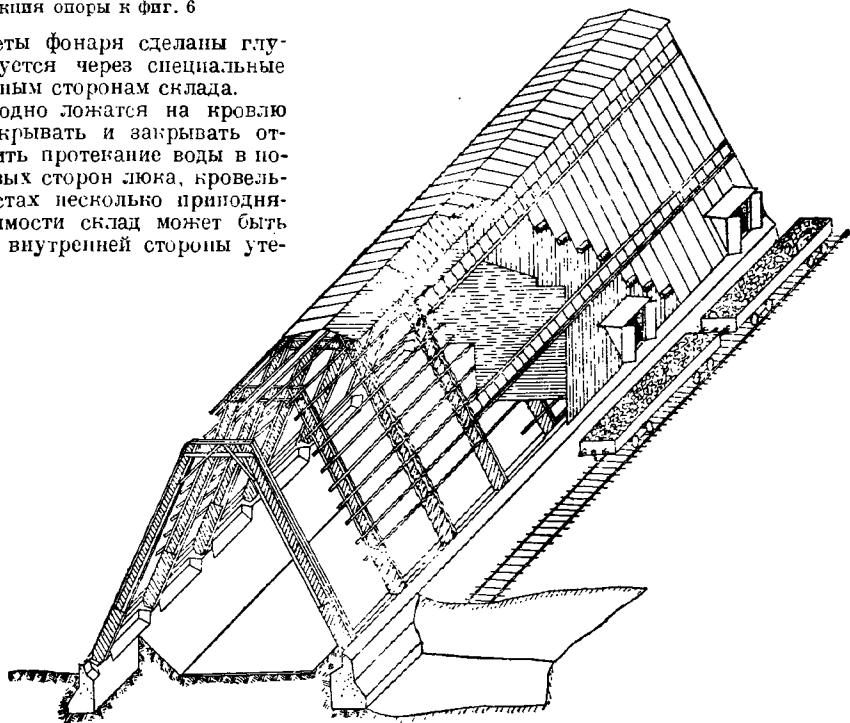
Устойчивость нижнего пояса против продольного изгиба обеспечивается подкосами и горизонтальными схватками, пространственно связывающими каждую пару арок.

Устойчивость всего сооружения обеспечивается двойным настилом: «рабочим» из брусков  $5 \times 5$  см, прибитых непосредственно к фермам с промежутками 8 см в свету, и «защитным» из брусков  $5 \times 4,9$  см, прибитых к «рабочему» настилу под углом  $45^\circ$ .

Склад освещается сплошным коньковым фонарем, только крайние 3—4 арки до самого конька связаны перекрестным настилом. Наличие открывающихся рам, занимающих  $\frac{1}{3}$  общей поверхности фонаря, дает возможность создать в случае необходимости интенсивную естественную вентиляцию склада.

Галерея для ленточного транспортера, загружающего склад, помещается внутри склада, в его верхней части; настил галереи укладывается по подвешенным к узлам ферм поперечным балкам. В случае применения для разгрузки кранца с подвижным и верхним направляющим рельсами верхний рельс крепится к этим же поперечным балкам.

Фундаменты—сборные из готовых железобетонных элементов за исключением верхней опорной части, которая бетонируется на месте и связывает отдельные элементы сборного фундамента. Между отдельными стоящими фундаментами под фермы на выступы опорной части укладывается железобетонный мауэрлатный поколь Г-образного сечения, связывающий фундаменты в продольном направлении и предотвращающий размывание и осыпание земляных валов, идущих вдоль

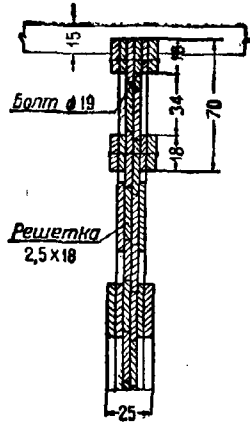


10. Аксонометрия склада

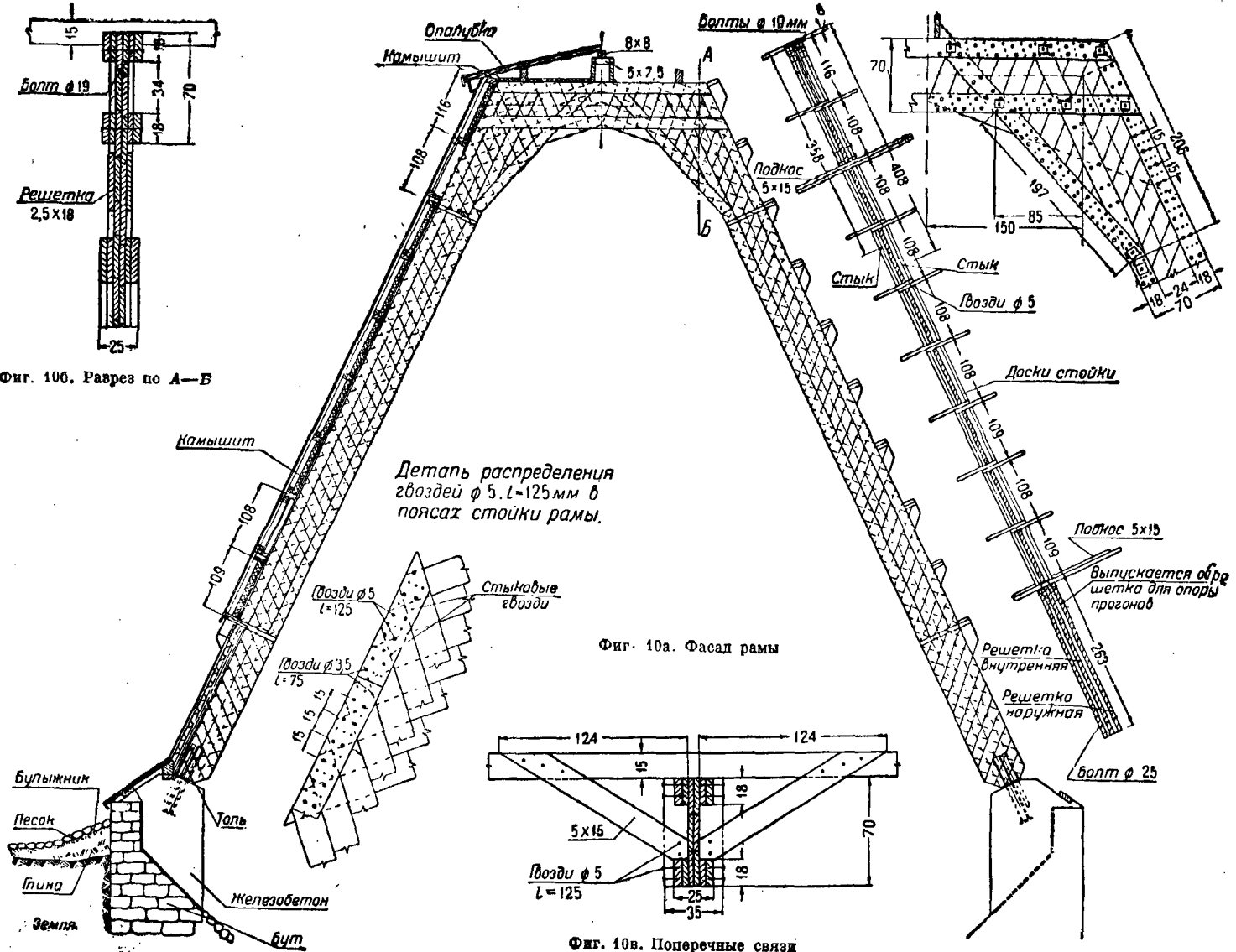
склада. Сборные фундаменты могут быть также осуществлены из деревянных креозотированных элементов.

Примером иного решения покрытия склада большого пролета может служить склад сухого жома, общий вид которого дан на фиг. 6.

В средней части несущая конструкция образована трехшарнирными арками, состоящими из сегментных ферм. В отличие от конструкции,



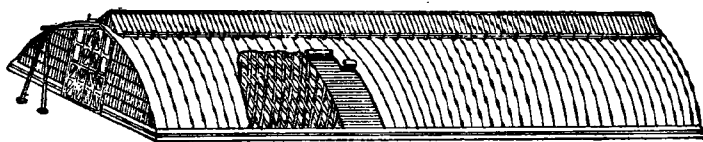
Фиг. 106. Разрез по А—Б



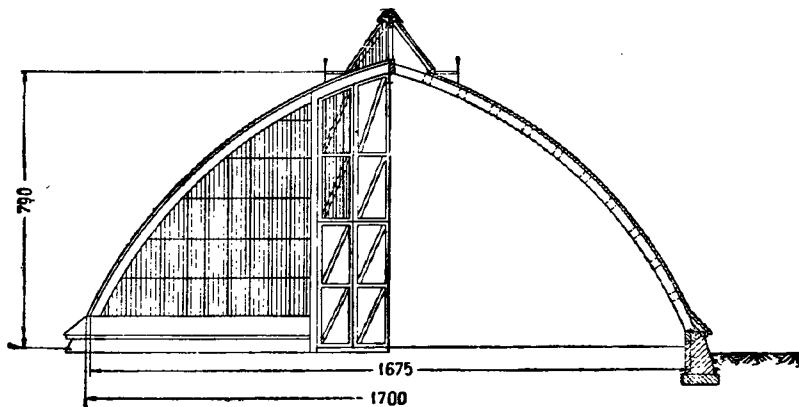
Фиг. 10а. Фасад рамы

Фиг. 10в. Поперечные связи

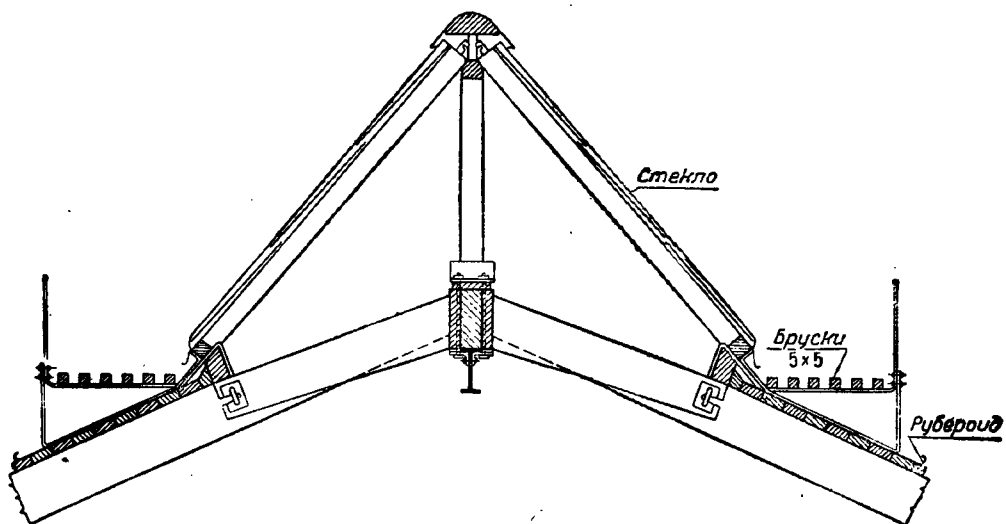




Фиг. 11. Сетчатое покрытие склада



Фиг. 11а. Торец склада



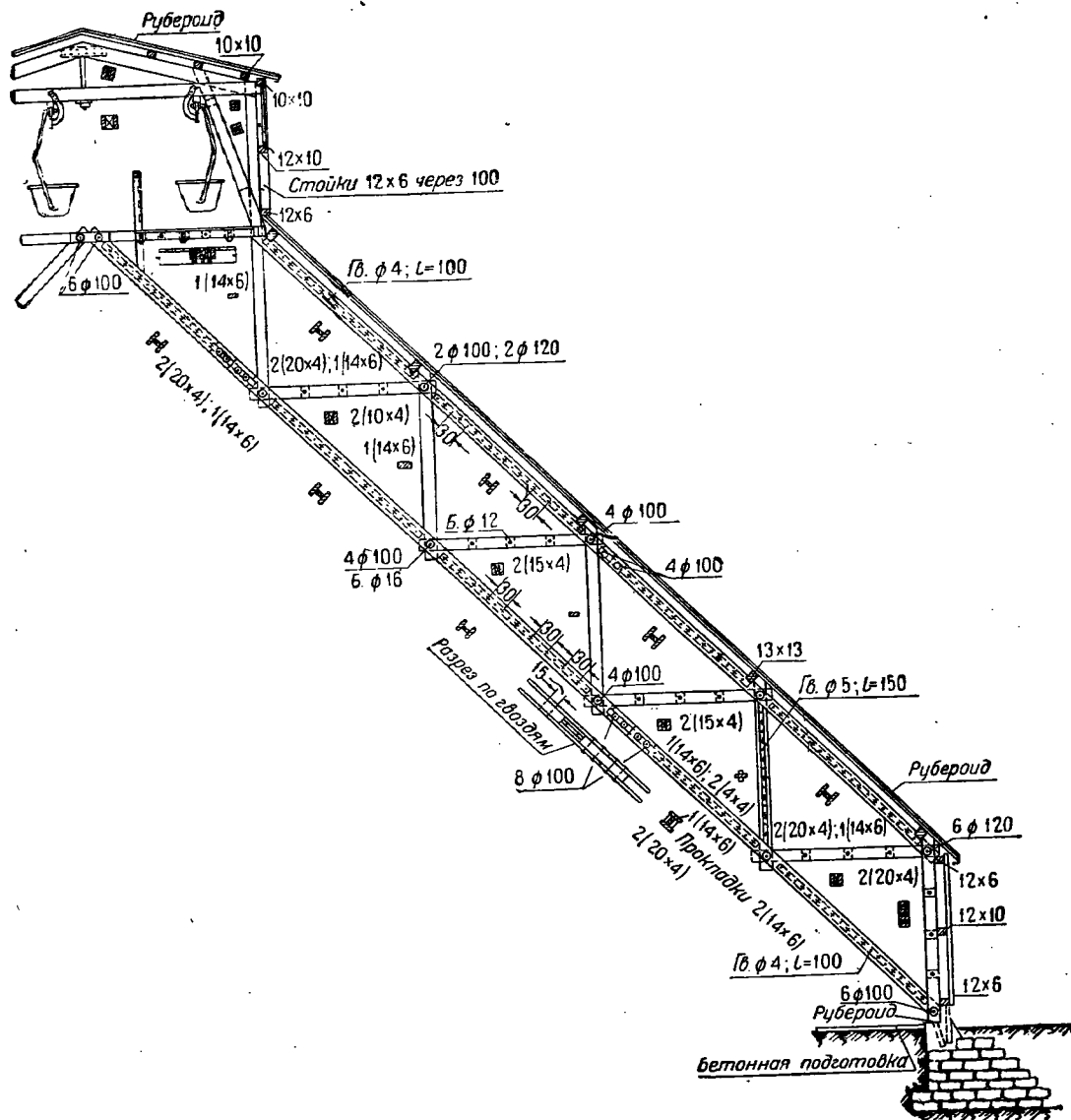
Фиг. 11б. Коньновый фонарь

описанной выше, узловые соединения выполнены здесь на гвоздях, что является большим преимуществом этих ферм. Транспортная галерея вынесена над покрытием. На фиг. 7 дан поперечный разрез по средней части склада.

Торцевые части склада, имеющие в плане форму полукруга, перекрыты шестью сегментными фермами, расположенными по радиусам и

Склад на фиг. 10 Химпроекта перекрыт двухшарнирной дощатой рамой на гвоздях; по сравнению с покрытием из трехшарнирных арок данное решение является более тяжелым.

Склады, не имеющие большой сосредоточенной нагрузки в коньке (в виде грейфера и пр.), могут быть перекрыты деревянным кружально-сетчатым сводом (фиг. 11).



Фиг. 12. Фасад арки

сходящимися в верхнем кольце—в коньке покрытия. Детали верхнего кольца и торцевой фермы показаны на фиг. 8.

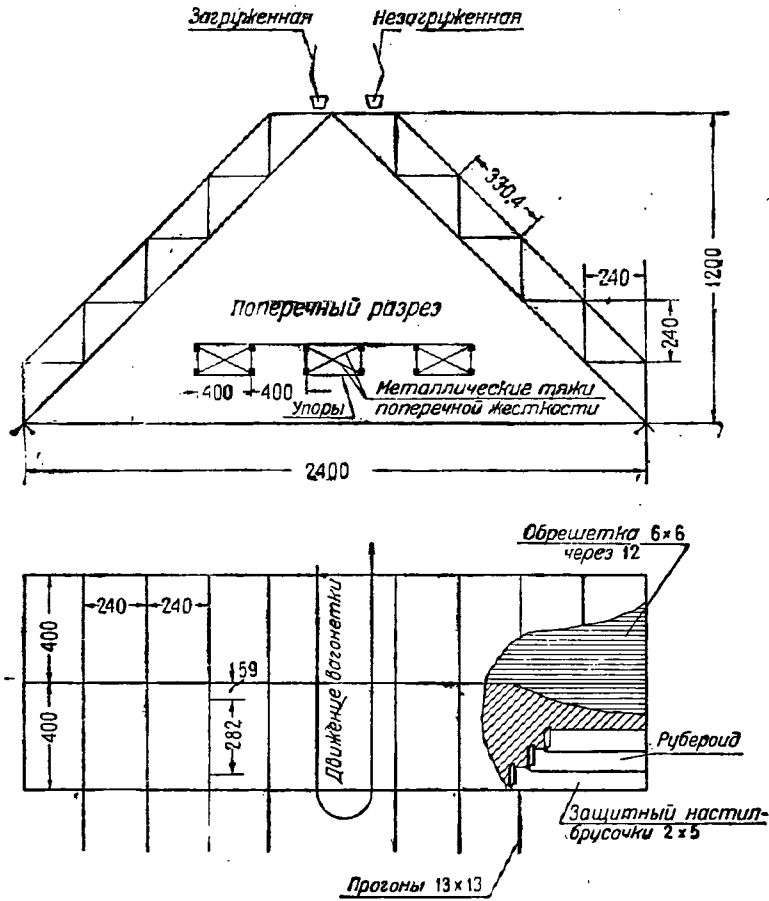
Фундаментами арок служат столбы из тощего бетона, пространство между столбами заполнено кирпичной стенкой в  $\frac{1}{2}$  кирпича по рядовой кирпичной перемычке. Конструкция фундаментов изображена на фиг. 9.

Примеры других конструкций покрытий складов сыпучих тел даны на фиг. 10, 11 и 12.

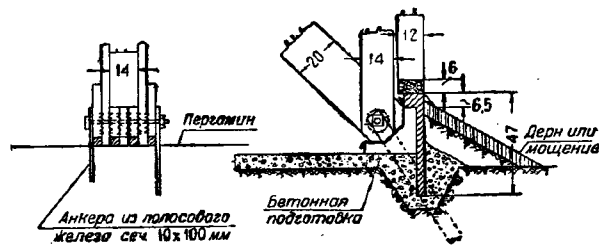
На фиг. 12 показано покрытие склада из трехшарнирных свозных арок<sup>1</sup>, составленных из ферм с параллельными поясами на зубчато-кольцевых шпонках.

Эта конструкция покрытия удобна при широкой транспортной галерее для двойного вагонеточного пути.

<sup>1</sup> Запроектировано Деревягиным В. С.



Фиг. 12а. Схема арки



Фиг. 12б. Опора арки

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Буфф, Техническая организация и устройство пром. предприятий.
2. Нефедов и Юдин, Складское дело.
3. Mischenfelder, Materialbewegung.
4. Zimmer, Mechanical Handlingstoring of Material.

5. Склады Хлебопродукта, «Строит. пром.» № 2, 1926 г.
6. Склады каллевой сопы. Склады угля в кокса, «Beton und Eisen» № 13, 1929 г.
7. Массовое передвижение материала в цементных заводах, «Тотиндустрие Zeitung» № 69, 1929 г.
8. Склады при сахарном заводе, «Bauingenieur» № 15/16, 1935 г.

### III. КАРКАСНЫЕ МНОГОЭТАЖНЫЕ ЗДАНИЯ

#### 1. Общая характеристика

По типу конструкций различают рубленые, щитовые и каркасные деревянные здания.

Рубленые здания вследствие большого расхода лесоматериалов могут строиться только в лесистых местностях — преимущественно в один или два этажа. Производство рубленых стен было кустарным. В настоящее время наметились возможности механизировать его, применяя вместо бревна брус.

Щитовые здания широко применяются главным образом в барачном и поселковом строительстве обычно высотой не более двух этажей.

Каркасные здания являются более рациональными во всех отношениях и широко освоены в промышленном и в гражданском строительстве при высоте не свыше двух этажей. Многоэтажные каркасные здания применяются сравнительно редко, главным образом в промышленном строительстве.

Основным несущим скелетом многоэтажного каркасного здания является каркас, состоящий из стоек, наружных и внутренних пилостр (или стенок), на которые опираются прогоны, балки и настилы междуэтажных и кровельных перекрытий.

Многоэтажный каркас целесообразно заземлять между отдельно стоящими кирпичными или железобетонными массивами в виде лестничных клеток и т. п., обеспечивающими ему устойчивость во всех направлениях.

В этих каменных массивах целесообразно сосредоточить не только лестничные клетки, но и все мокрое и горячее хозяйство жилого дома: умывальные, уборные, кухни и тому подобные помещения, которые с точки зрения эксплуатации нуждаются в огнестойких негниющих ограждениях.

Многоэтажные деревянные здания возведены в СССР только как опытные конструкции. Основным требованием, предъявляемым к деревянным многоэтажным зданиям, является массивность — беспустотность всех несущих частей и перекрытий. Применением древесноплиты толщиной не менее 10 см и сплошных несущих массивных перегородок, оштукатуренных с обеих сторон, можно обеспечить пожарную безопасность деревянных зданий высотой до четырех-пяти этажей.

По габаритам ячеек каркасы многоэтажных зданий можно разбить на следующие группы:

- 1) ячейки малых пролетов — от 3 до 5 м;
- 2) ячейки средних пролетов — от 5 до 7 м;
- 3) ячейки больших пролетов — от 7 до 12 м.

Ячейки малых пролетов получили распространение главным образом в жилищном строительстве. Ячейки средних пролетов могут найти применение в промышленном строительстве; ячейки больших пролетов применяются весьма редко и только для некоторых зданий коммунального и промышленного назначения.

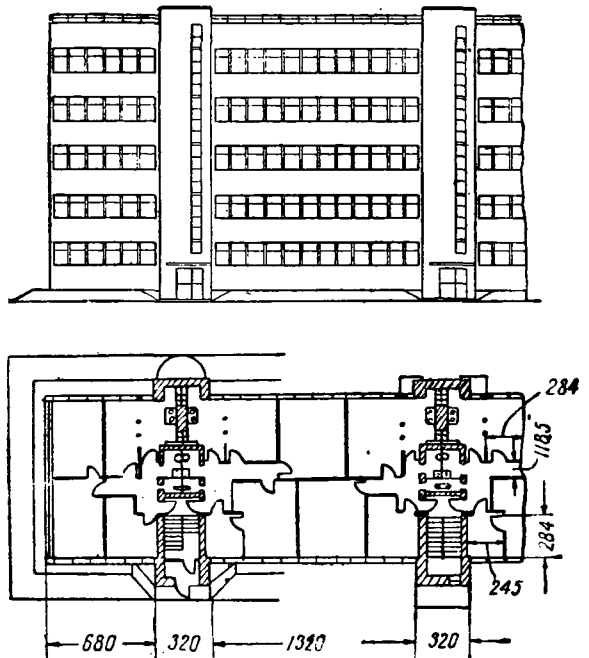
В сельскохозяйственном строительстве каркасные многоэтажные здания могут применяться главным образом в подсобных производственных помещениях для сушки и хранения сельскохозяйственных продуктов.

При больших динамических нагрузках трудно обеспечить достаточную жесткость деревянного каркаса, поэтому в таких сооружениях деревянный каркас вообще не должен применяться.

Как правило, деревянные многоэтажные здания капитального характера должны опираться на каменные фундаменты ленточного типа или в виде отдельно стоящих столбов. Деревянные части должны начинаться лишь выше цоколя, приподнятого над уровнем земли не менее чем на полметра.

#### 2. Жилые каркасные здания

Одна из возможных конструктивных схем многоэтажного деревянного жилого здания представлена на фиг. 1.



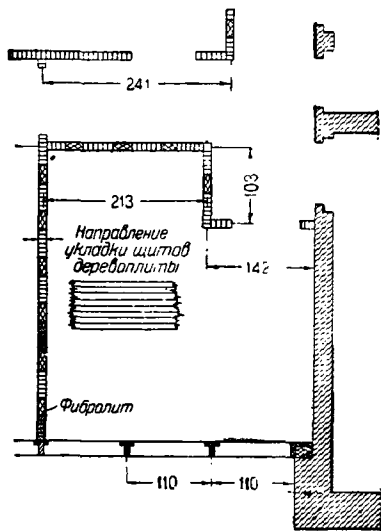
Фиг. 1. Каркасный жилой дом

Междуэтажные перекрытия, сконструированные по типу сплошной древесноплиты, опираются на несущие поперечные перегородки (фиг. 2), состоящие из деревянных стоек, между которыми помещаются фибролитовые вкладыши (фиг. 3). Древесноплита междуэтажных перекрытий опирается на перегородки с помощью парных сваток, врубленных в стойки перегородок (фиг. 4). Длина стоек равна высоте этажа. Опирание перегородок на фундамент и устройство пола первого этажа показаны на фиг. 5.

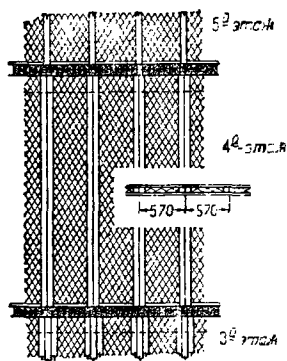
Устойчивость всего здания достигается за счет диафрагм междуэтажных перекрытий и каменных массивов лестничных клеток; в этих

массивах расположены также души, уборные и джухи. Каменные массивы выступают из фасадных плоскостей и над крыши и таким образом при ширине в 3,2 м являются надежной брандмауерной зоной, членящей все здание на изолированные в пожарном отношении жилые секции.

Испытание на прочность и пожарную безопасность модели части этого здания (в масштабе  $\frac{1}{10}$  натуральной величины) дало благоприятные результаты<sup>1</sup>.



Фиг. 2. Разрез по несущим перегородкам (к фиг. 1)



Фиг. 3. Конструкция перегородки (к фиг. 1)

### 3. Производственные каркасные здания

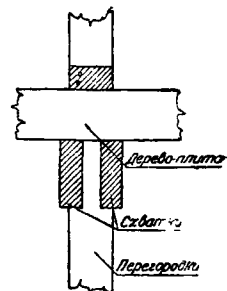
Производственные каркасные здания впервые были применены Бостонской строительной компанией для производственных корпусов текстильных и трикотажных фабрик в Америке (фиг. 6). В основном каркас этих зданий состоит из стоек цельного сечения больших размеров (от 30 × 30 до 40 × 40 см), шарнирно закрепленных в каждом междуэтажном перекрытии (фиг. 7) и в фундаменте (фиг. 8), и балок мощного цельного сечения

высотой до 40 см, опирающихся на специальные металлические колпаки или хомуты (обычно чугунные или из толстого железа) (фиг. 7 и 9). Иногда по этим балкам настилаются промежуточные балки, черный и чистый пол и потолок. Устойчивость таких конструкций обыкновенно обеспечивается мощными отдельно стоящими кирпичными пилонами наружных стен (фиг. 6).

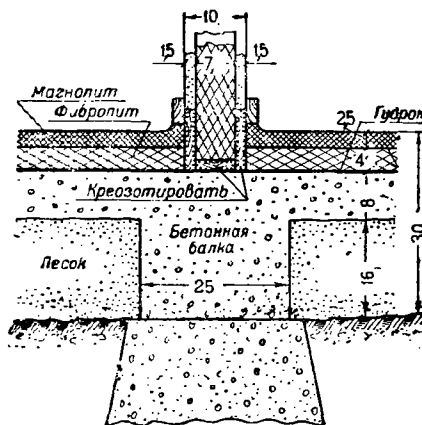
Этот тип конструкции характеризуется применением большого количества металла для отдельных частей сопряжений. Значительный вес металлических хомутов, башмаков и колпаков, применяемых для сопряжения деревянных балок и стоек между собой и с каменными пилонами (фиг. 10, 11 и 12), в некоторых случаях доходит до 30% от веса деревянных конструкций.

В таких конструкциях все деревянные части, соприкасающиеся с металлом и кирпичной и бетонной кладкой, должны быть тщательно изолированы прокладкой нескольких слоев гидроизоляции и термоизоляции и нанесением антисептирующих суперобмазок, что особенно необходимо в неотапливаемых помещениях и у деталей, выходящих наружу и соприкасающихся с охлаждаемыми частями здания.

Описанная конструкция предполагает наличие большего размера сортамента лесоматериалов. Аналогичные многоэтажные каркасные здания, но меньших пролетов и из более мелкого лесоматериала были осуществлены в довоенное время



Фиг. 4. Опирание междуэтажных перекрытий на перегородки (к фиг. 1)

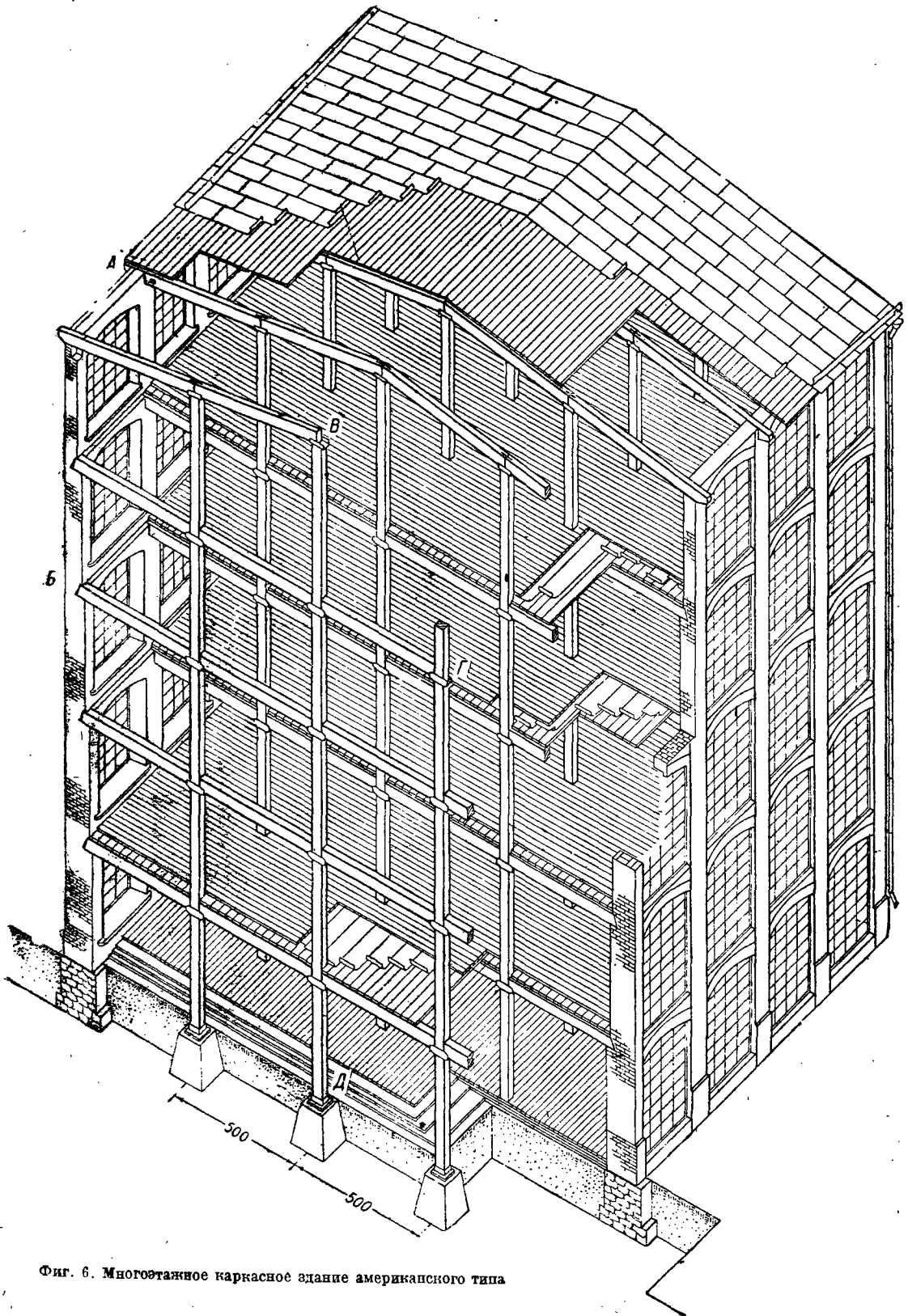


Фиг. 5. Опирание перегородок на фундамент и пол первого этажа (к фиг. 1)

в России, также преимущественно для текстильных фабрик, и по настоящее время находятся в эксплуатации.

В результате опытной проектировки в настоящее время выявлено несколько новых характерных решений деревянного многоэтажного каркаса. На фиг. 13 приведен поперечный разрез части четырехэтажного здания с деревянными внутренними стойками, с балками двутаврового сечения и междуэтажными перекрытиями и кровлей в виде сплошной древесины. Наружные несущие

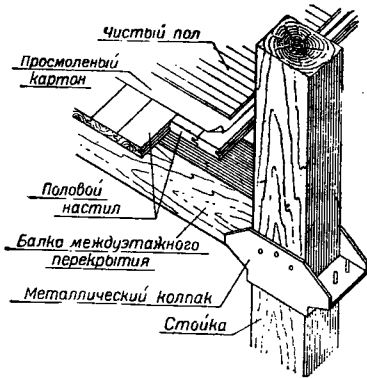
<sup>1</sup> Испытание производилось на постоянной Всесоюзной строительной выставке в Москве.



Фиг. 6. Многоэтажное каркасное здание американского типа

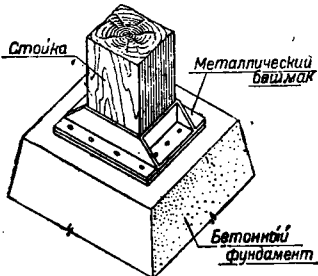
массивные кирпичные столбы обеспечивают устойчивость всего здания в поперечном направлении. Внутренние деревянные стойки конструируются из четырех основных рабочих элементов таким об-

перекрестной или фанерной стенкой на гвоздях в таких сооружениях должны иметь наименьшую из допускаемых нормальных высот. При осевом центральном расположении продольного прогона,



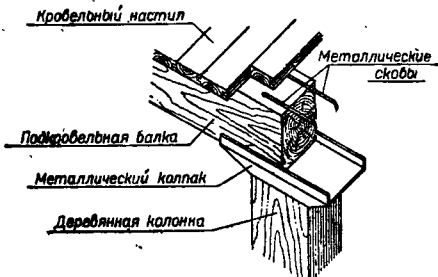
Фиг. 7. Опираие балок на стойки (к фиг. 6)

разом, что в каждой паре элементов защемляется конец двутавровой балки междуэтажного перекрытия, опирающейся на внутренние вкладыши стоек. Сплошное заполнение вкладышами всех



Фиг. 8. Опираие стойки на фундамент (к фиг. 6)

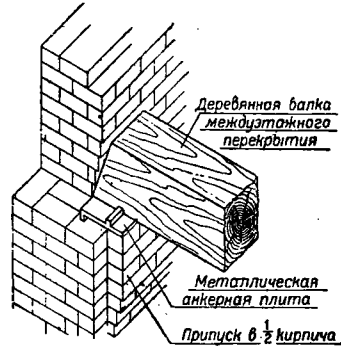
внутренних промежутков в стойке увеличивает массивность (беспустотность) самой стойки, обеспечивая большую пожарную безопасность и лучшую устойчивость. Стыки отдельных рабочих



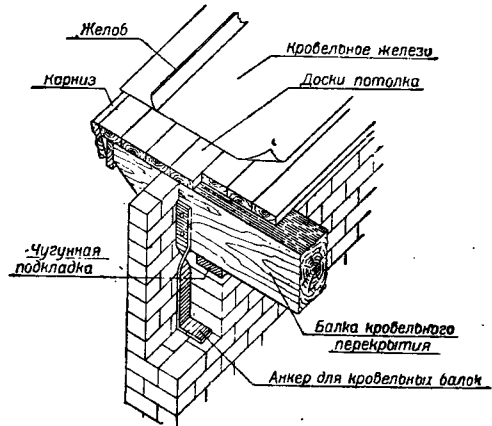
Фиг. 9. Опираие стропильных балок на стойки (к фиг. 6)

элементов стойки необходимо делать лобовым упором вразбежку, по возможности симметрично относительно оси стойки. Основным скрепляющим элементом для восприятиядвигающих сил могут служить болтовые нагели. Балки на пластинчатых нагелях или двутаврового сечения с

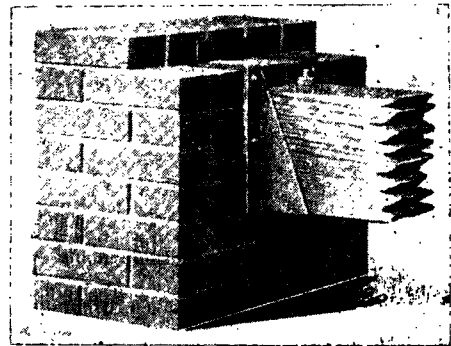
поперечном («от света») расположении балок и гладкой потолочной поверхности затемнения можно опасаться только лишь в средних пролетах широких зданий. Применение балок с фанерной стенкой допустимо лишь в сухих помещениях.



Фиг. 10. Опираие междуэтажных балок на кирпичные стены (к фиг. 6)



Фиг. 11. Опираие стропильных балок на кирпичные стены (к фиг. 6)



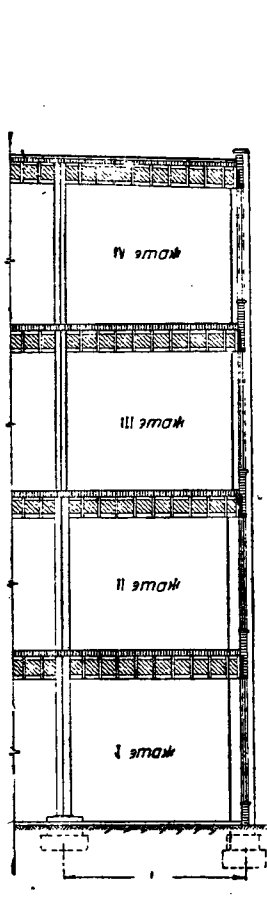
Фиг. 12. Металлический американский «кармав» для опириания балок на стены

Применение деревянного многоэтажного каркаса целесообразно при надстройке верхних этажей каменных и железобетонных сооружений. Пример такого здания с нижней железобетонной частью и деревянной надстройкой в два этажа изображен на фиг. 14.

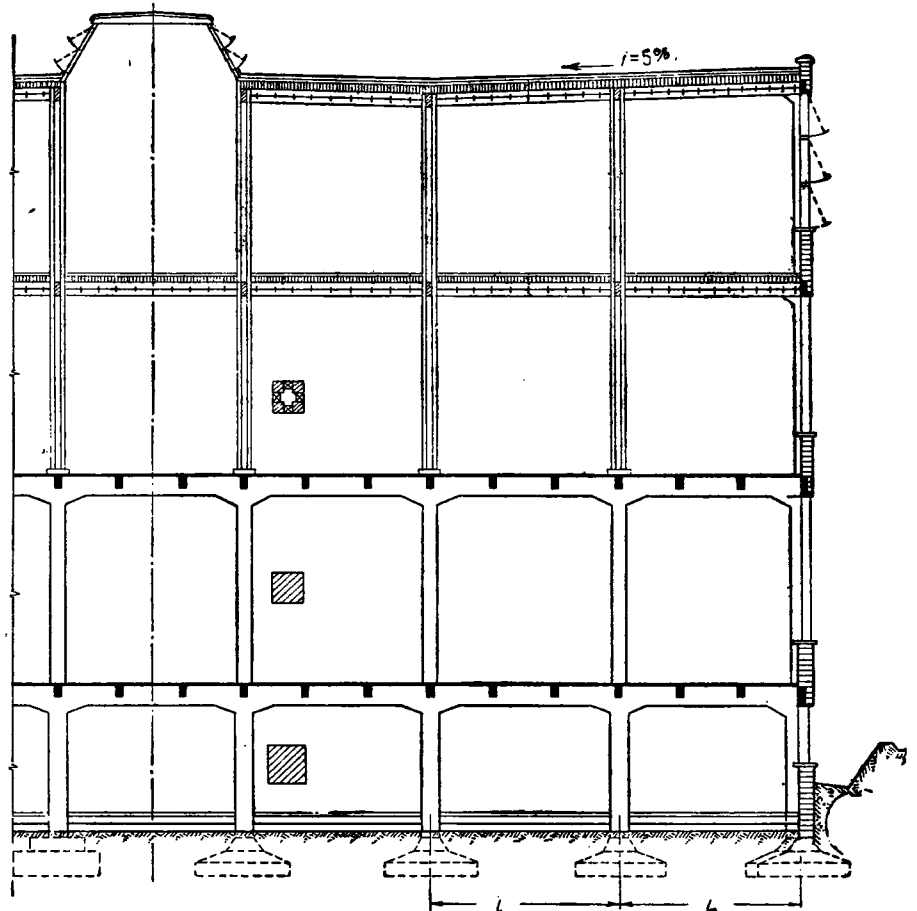
В целях пожарной безопасности стойки состав-

лены из четырех брусьев со сплошными прокладками и снаружи оштукатурены.

Рабочими элементами в покрытиях и перекрытиях являются брусчатые балки на пластинчатых нагелях. Устойчивость надстроенных этажей обеспечивается железобетонными наружными стойками.



Фиг. 13. Разрез части каркасного здания



Фиг. 14. Деревянная каркасная надстройка железобетонного здания

### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В. Ф., Сборное деревянное строительство (Материалы к докладам на конференции), 1933 г., стр. 7—35. Госплан СССР Оргкомитет по союзу Всесоюзной конференции по реконструкции стр-ва во втором пятилетии.
2. Васильев В. Ф., Безкаркасные, каркасные и рамные конструкции сборных домов, «Плотник и столяр» № 2, 1933 г., стр. 23—27, № 3, стр. 11—17.
3. Виганд К. П. и Суханов Г. Н., Мелкое жилищное строительство в Америке, Труды комиссии т. Лобова С. С. по изучению строительства Западной Европы и США, Гос. научно-техн. изд., М.-Л. 1929 г., стр. 7.
4. Вингер, Стандартное строительство. Сборно-каркасные трехэтажные дома, «Плотник и столяр» № 3, 1932 г., стр. 15—23.
5. Вольпе Л., Киряично-деревянные дома, «Проект и стандарт» № 4—5, 1933 г., стр. 37.
6. Вутке О., О сборном деревянном строительстве жилищ, «Строит. пром.» № 11, 1929 г., стр. 970—972.
7. Вутке О., Вопросы деревянного сборного строительства, Гос. научно-техн. изд., М.-Л. 1931 г., стр. 100.
8. Из практик американского строительства, «Деревянные каркасные конструкции», «Строитель» № 23, 1929 г., стр. 8—11, № 24, стр. 7—9.
9. Конструкция жилых домов в США, «Строит. пром.» № 10, 1924 г., стр. 649—651.
10. Ладинский А., «Улучшенное стандартное жилищное строительство» № 8, 1929 г., стр. 22—25.
11. Отбор типов конструкций стандартных сборных домов, Научно-исследовательский институт индустриализации жилищного строительства, М. 1933 г.
12. Сборные деревянные дома — конструкции (альбом), Гос. научно-техн. изд., 1931 г., стр. 206/2.
13. Швидковский А. В., Многоэтажный деревянный дом, спроектированный в Институте сооружений, «Плотник и столяр» № 5—6, 1932 г., стр. 20—22.



### IV. БАШНИ-ОБОЛОЧКИ

#### 1. Общие сведения

Башни-оболочки могут применяться как в качестве башен, воспринимающих преимущественно горизонтальные ветровые нагрузки, например градирни, причальные башни для дирижаблей, башни ветросиловых установок, радиобашни и др., так и в качестве башен, воспринимающих одновременно значительные вертикальные и горизонтальные нагрузки, например водонапорные башни.

Вполне надежная в работе конструкция башен-оболочек по сравнению с другими конструкциями обладает следующими преимуществами:

- 1) пределы применения конструкции не ограничены величиной нагрузок и размеров сооружения;
- 2) конструкция нетребовательна к сортаменту и качеству лесного материала, так как принцип дробности исключает катастрофическое влияние случайных пороков древесины;
- 3) использование косой обшивки в качестве рабочего элемента дает по сравнению со стержневыми конструкциями экономию лесоматериала в 10—30% и металла;
- 4) конструкция проста в производстве работ и не требует высококвалифицированной рабочей силы;
- 5) башни-оболочки имеют хорошо обтекаемую ветром форму.

Конструкцию башни-оболочки, так же как и конструкцию свода-оболочки, составляют четыре основных элемента:

1. Стойки из досок или брусков, направленных вдоль образующей.
2. Кольца из гнутых досок, а при малых диаметрах — из выкружаленных досок. Кольца могут быть исполнены частично или полностью в виде жестких диафрагм.
3. Перекрестная косая обшивка из гнутых досок (брусков), направленных под углом (не обязательно 45°) к стойкам и кольцам.
4. Верхняя и промежуточная (в ребристых башнях) диафрагмы необходимы для обеспечения жесткости конструкции.

Все элементы скрепляются между собой гвоздями и болтами (или деревянными нагелями). Элементы, подходящие к основанию, должны быть прочно прикреплены к фундаменту.

Башни-оболочки могут быть цилиндрической или конической формы. С конструктивной и производственной точек зрения цилиндрическая форма предпочтительнее, так как в башне конической формы различные по размеру горизонтальные кольца и часть косой обшивки требуют более сложной нестандартной обработки и пригонки по месту.

Срок службы деревянных башен-оболочек зависит от тщательности проектирования и возведения, а также от условий эксплуатации сооружения. Башня-градирня без специальной защиты от гниения может удовлетворительно прослужить примерно 5 лет. Применение креозотированной древесины и оцинкованных гвоздей может повысить срок службы до 15 и более лет.

Последующая обработка элементов после креозотирования не допускается.

Водонапорные и причальные башни могут быть осуществлены как капитальные сооружения, но только при условии: а) защиты конструкций от атмосферных осадков (этернитом, кровельным железом и т. п.) и б) консервирования «последующего действия» или пропитки ответственных частей конструкции, подверженных эксплуатации в конденсационному или конденсационному увлажнению.

#### Нагрузки

При расчете башни учитываются следующие нагрузки:

1. Собственный вес.
2. Полезные нагрузки (водонапорные баки и т. п.).
3. Ветровая нагрузка.

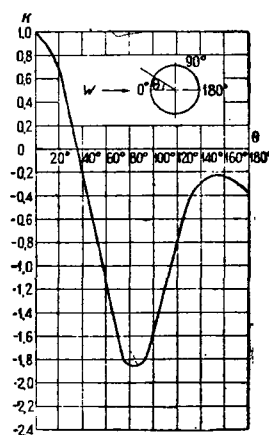
Ветровая нагрузка определяется по формуле:

$$p_e = kq, \quad (1)$$

где  $q$  — скоростной напор (берется по  $\frac{OCT}{BKC}$ );

$k$  — коэффициент обтекания.

При необходимости иметь закон распределения давления ветра по поперечному сечению башни коэффициент  $k$  может быть взят по графику (фиг. 1).



Фиг. 1. График аэродинамических коэффициентов

Уравнение этой кривой <sup>1</sup>:

$$k = 0.6 + 0.3 \cos \theta + 1.05 \cos 2\theta + 0.4 \cos 3\theta - 0.15 \cos 4\theta. \quad (2)$$

Если за площадь сопротивления принимается диаметральной плоскостью сооружения, то  $k = 0.6$ .

В целях упрощения расчета для башни средней высоты ветровую нагрузку принимают постоянной по высоте башни.

### 2. Водонапорная ребристая башня-оболочка

#### 1) Описание

Башня представляет собой цилиндр, образованный из вертикально поставленных стоек и кривой перекрестной обшивки (фиг. 5). Сверху в

<sup>1</sup> Заимствовано у «Котлотурбины». Составлено по опытам Правдтия. Общее выражение уравнения:  $k = a_0 + 2a_n \cos n\theta$ .

цилиндре расположена горизонтальная площадка на радиально направленных балках (фиг. 7), каждая из которых опирается на стойку и наружный и внутренний подкосы (фиг. 6). Верхние концы внутренних подкосов примыкают к упорному сжатому кольцу, нижние — к стойкам. Распор воспринимается специальной конструкцией — кольцом из гнутых досок — снаружи, кружальным кольцом — внутри или тягами по типу велосипедного колеса. На площадку опирается шатер, сконструированный по тому же принципу, что и основной ствол башни. По высоте башни поставлены жесткие диафрагмы. Фундамент — бутовый, кольцевой формы.

Деревянные водонапорные башни могут быть как временными, так и капитальными сооружениями. Башни-оболочки, как правило, капитальны и потому должны быть защищены как от гниения, так и от пожарной опасности.

В тело неотапливаемой башни во избежание гниения от дифференциальной конденсации не следует вводить массивных утеплителей, ограничиваясь в случае надобности утеплением только шатра. Утеплитель следует применять негниющий и с внутренней стороны шатра располагать пароизоляционный слой (штукатурка по толю, осмоленная фанера и т. п.); легом помещение около водяного резервуара должно проветриваться.

В крыше, если в качестве гидроизоляции ее применяется металл или рубероид, необходимо устроить осушающие продухи. Снаружи для вертикальных стенок шатра и башни рекомендуется применять огнестойкий паропроницаемый покров, например этернит; штукатурка допустима, но должна быть защищена от дождя свешивающимся карнизом. Между примыкающими к основанию деревянными частями и бетоном или камнем необходимо положить двойной рубероид на гудроне.

Для выхода водяных паров, выделяющихся внутри шатра зимой в большом количестве, необходимо предусмотреть «аэраторы», например в виде отверстия в коньке, заполненного шлаком, пропускающим пары и задерживающим теплый воздух. Вблизи дна следует поставить частые жалюзи, предотвращающие интенсивное движение воздуха и не препятствующие выходу паров. Опасаться замерзания воды в баке при наличии постоянной ее циркуляции и достаточной емкости бака в таких условиях не приходится. Замерзание воды возможно лишь в подводных и отводящих трубах, которые следует тщательно утеплять минеральным утеплителем.

Для предохранения конструкции ствола башни от увлажнения конденсационной или фильтрующей из бака водой необходимо сделать под баком водонепроницаемый и паронепроницаемый поддон, откуда фильтрующаяся из бака вода отводится по специальным желобам и трубам.

## 2) Расчет

Определение усилий. Сравнительно большое значение отношения приведенной толщины оболочки к радиусу ствола башни и наличие жестких диафрагм позволяют сделать допущение, что башня в целом работает как консоль, заземленная одним концом, сохраняя круговую форму поперечного сечения и подчиняясь закону плоских сечений. Такой приближенный статический расчет дает достаточно точные для практики результаты.

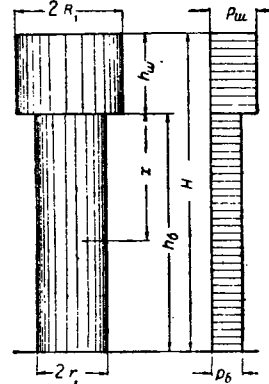
### а) Усилия от вертикальной нагрузки

Если вертикальную (симметричную относительно оси башни) нагрузку обозначить через  $Q_0$  и число стоек через  $2m$ , то усилия на каждую стойку:

$$N_0 = \frac{Q_0}{2m}. \quad (3)$$

### б) Усилия от ветровой нагрузки

Разобьем башню на две зоны — шатер и ствол башни — и в пределах каждой зоны примем давление ветра постоянным  $p_0 = 0,6q$ , причем величину скоростного напора  $q$  определяем для шатра на высоте  $H$  и для башни — на высоте  $h_0$  (фиг. 2).



Фиг. 2. Схема загрузки водонапорной башни

Таким образом имеем:  
для шатра:

$$p_{ш} = 0,6q' H,$$

для башни:

$$p_0 = 0,6q'' h_0.$$

Изгибающий момент от ветровой нагрузки в сечении  $x$  башни:

$$M_x = p_0 r_1 x^2 + p_{ш} R_1 h_{ш} [h_{ш} + 2x],$$

где  $R_1$  — внешний радиус шатра;

$r_1$  — внешний радиус башни;

$h_{ш}$  — высота шатра.

Момент инерции поперечного сечения башни определяется по формуле:

$$I_x = mFr^2 \quad (5)$$

и момент сопротивления:

$$W_x = mFr, \quad (6)$$

где  $F$  — площадь поперечного сечения стойки;

$2m$  — число стоек;

$r$  — радиус окружности, проходящей через

центры тяжести стоек.

Наибольшее усилие на стойку от изгибающего

момента в сечении  $x$  определяется по формуле:

$$N_1 = \frac{M_x}{W_x} \cdot F = \frac{M_x}{rm}. \quad (7)$$

Подставляя значение  $M_x$ , получим:

$$N_1 = \mu \cdot \frac{p_0 x^2}{m} + \eta \frac{p_{ш} \cdot h_{ш}}{m} (h_{ш} + 2x), \quad (8)$$

где

$$\mu = \frac{r_1}{r}$$

и

$$\eta = \frac{R_1}{r};$$

в) Полное усилие на стойку:

$$N = N_0 + N_1. \quad (9)$$

Прикрепление кривой обшивки к стойкам должно рассматриваться на приращение  $\Delta N$  усилия в стойке по высоте башни. Приращение  $\Delta N_1$  на единицу длины стойки от ветровой нагрузки:

$$\Delta N_1 = \frac{Q_x}{m}. \quad (10)$$

В данном случае:

$$\Delta N_1 = \frac{2}{m} (\mu p_0 x + \eta p_{u1} h_{u1}). \quad (11)$$

К величине  $\Delta N_1$  сдвигающего усилия на единицу длины стойки от поперечного изгиба следует прибавить сдвигающее усилие на единицу длины стойки от продольного изгиба всей башни в целом по формуле:

$$\Delta N_0 = k_{cd0} \frac{S_1}{z} \frac{[n_u]}{[n_-]} \left( \frac{1}{\varphi_y} - 1 \right) \frac{Q_0}{2Fm} \cdot \frac{1}{h_0}, \quad (12)$$

где  $S_1 = Fr$  — статический момент относительно нейтральной оси наиболее удаленной стойки;  $\varphi_y$  — коэффициент, учитывающий гибкость башни в целом;

$$z = r; \quad \frac{[n_u]}{[n_-]} = 1,1; \quad k_{cd0} = 1,03.$$

Подставляя эти данные в ф-лу (12), получим усилия на единицу длины стойки:

$$\Delta N_0 = 1,13 \left( \frac{1}{\varphi_y} - 1 \right) \frac{N_0}{h_0}. \quad (13)$$

Полная величина сдвигающего усилия на единицу длины вдоль одной стойки:

$$\Delta N = \Delta N_0 + \Delta N_1. \quad (14)$$

Гибкость башни определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{2h_0}{r_u} = 2 \sqrt{2} \frac{h_0}{r}, \quad (15)$$

где

$$r_u = \frac{r}{\sqrt{2}}. \quad (16)$$

Сдвигающие усилия воспринимаются кривой обшивкой. Наибольшее усилие в кривой обшивке (у нейтральной оси) определяется по обычной формуле:

$$T_x = \frac{Q_x S}{I}, \quad (17)$$

где  $S$  — статический момент половины сечения относительно нейтральной оси;

$I$  — момент инерции сечения башни;

$Q_x$  — поперечная сила в сечении  $x$ .

Для кольца эта формула принимает вид:

$$T_x = \frac{Q_x}{\pi r}. \quad (18)$$

В данном случае:

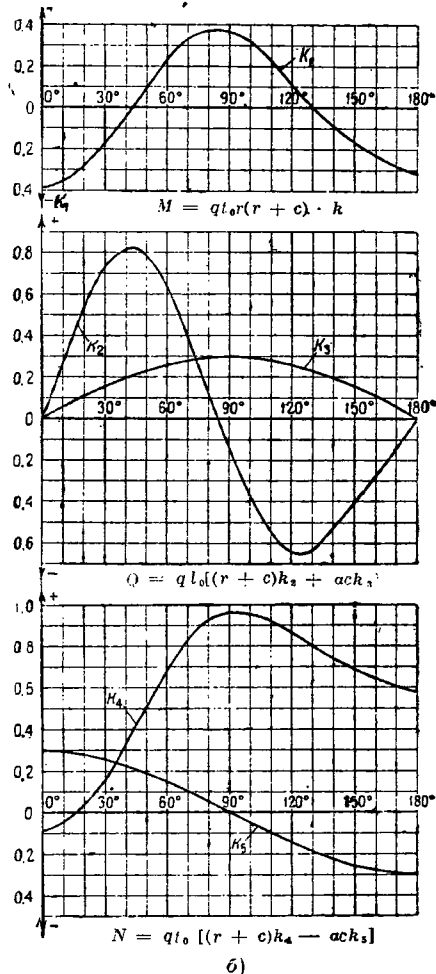
$$T_x = \frac{2}{\pi} (\mu p_0 x + \eta p_{u1} h_{u1}). \quad (19)$$

К усилию  $T_x$  следует добавить сдвигающее усилие, возникающее от продольного изгиба всей башни в целом. Это сдвигающее усилие можно определить аналогично тому, как было определено усилие  $\Delta N_0$  [ф-ла (13)], но вместо статического

момента одной стойки  $S_1 = Fr$  следует поставить статический момент стоек на половине сечения:

$$S = \sum_{k=0}^{k=m} Fr \sin k \frac{\pi}{m}, \quad (20)$$

где  $k = 1, 2, 3, \dots, m$ ,



Фиг. 3. График коэффициента  $k$  для определения  $M$ ,  $Q$  и  $N$  в кольце

или

$$S = \frac{Fr}{\frac{\pi}{2m}}. \quad (21)$$

Сдвигающее усилие, соответствующее одной половине башни, определится по формуле:

$$T_0 = \frac{1,13}{2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{2m}} \left( \frac{1}{\varphi_y} - 1 \right) \frac{N_0}{h_0}. \quad (22)$$

Таким образом расчетная величина сдвигающего усилия в кривой обшивке:

$$T = T_0 + T_x. \quad (23)$$

Диафрагмы должны быть рассчитаны на усилия от давления ветра по контуру башни на участке, соответствующем расстоянию  $l_0$  между двумя диафрагмами.

Для определения этих усилий можно воспользоваться графиком фиг. 1.

Соединение диафрагмы с косой обшивкой должно быть рассчитано на восприятие сдвигающих усилий, уравнивающих давление ветра на участке между диафрагмами.

Эти сдвигающие усилия на единицу длины периметра диафрагмы могут быть определены по формуле:

$$T_{\text{диафр}} = \frac{\Delta Q}{\pi r} \sin \theta, \quad (24)$$

где  $\Delta Q$  — приращение поперечной силы, равное равнодействующей давления ветра на участок башни между двумя диафрагмами. Изгибающий момент  $M$ , поперечная сила  $Q$  и продольная  $N$  для кольца с постоянным моментом инерции, нагруженного радиальной ветровой нагрузкой  $q_0 = q l_0 [a_0 + \sum a_n \cos n\theta]$  и уравнивающими ее касательными усилиями, приложенными по внешней стороне кольца, определяются по формулам:

$$M_k = q l_0 r (r + c) k_1; \quad (25)$$

$$Q_k = q l_0 [(r + c) k_2 + a c k_3]; \quad (26)$$

$$N_k = q l_0 [(r + c) k_4 - a c k_5], \quad (27)$$

где  $q$  — давление ветра;  
 $l_0$  — расстояние между диафрагмами;  
 $r$  — радиус кольца по оси;  
 $2c$  — ширина кольца;

$$a = 1 + \frac{r}{c};$$

$$k_1 = \frac{a_n}{1 - n^2} \cos n\theta;$$

$$k_2 = -\frac{n a_n}{1 - n^2} \sin n\theta;$$

$$k_3 = a_1 \sin \theta;$$

$$k_4 = \frac{a_n}{1 - n^2} \cos n\theta - a_1 \cos \theta - a_0;$$

$$k_5 = a_n \cos \theta;$$

$$n = 2, 3, 4, \dots$$

Значения коэффициентов  $k$  для принятых в статье величин  $a_n$  представлены графически на фиг. 3.

### г) Расчетные напряжения

Проверка напряжений в стойке производится по формуле:

$$n = \frac{N_1}{\varphi_1 F} + \frac{N_0}{\varphi_2 \varphi_y F}, \quad (28)$$

где  $F$  — площадь поперечного сечения одной стойки;

$\varphi_y$  — коэффициент, учитывающий гибкость башни в целом [см. ф-лу (15)];

$\varphi_1$  — коэффициент, учитывающий гибкость стойки; свободная длина  $l_1$  стойки принимается равной расстоянию между диафрагмами.

Выпучивание стойки возможно лишь из плоскости косой обшивки. Косая обшивка в данном случае аналогична упругой среде, но влиянием ее в запас прочности пренебрегаем.

Стыки стоек и прикрепление их к фундаменту рассчитываются на полное растягивающее усилие:

$$N_{\pm} = N_1 - N_0. \quad (29)$$

Косая обшивка рассчитывается на усилие  $T$ , которое разлагается по двум ее направлениям.

Если угол наклона косой обшивки равен  $45^\circ$ , то усилие по косому направлению на доски об-

шивки площадью  $c \frac{1}{\sqrt{2}}$ , где  $c$  — толщина доски, будет  $^1$ :

$$D = \frac{T}{\sqrt{2}}. \quad (30)$$

Расчетное напряжение в досках сжатого слоя обшивки должно удовлетворять неравенству:

$$n = \frac{D}{c \varphi} + \frac{D e}{W} \cdot \frac{[n_-]}{[n_u]} \cdot \frac{1}{3} \leq [n_-], \quad (31)$$

где  $e$  — стрелка выгиба косой обшивки, вычисляемая по радиусу башни  $r_1$  и хорде  $b$ , равной расстоянию между стойками;  $\frac{1}{3}$  — коэффициент, учитывающий защемление обшивки у стоек. При вычислении  $\varphi$ , учитывая защемление, условно принимается:

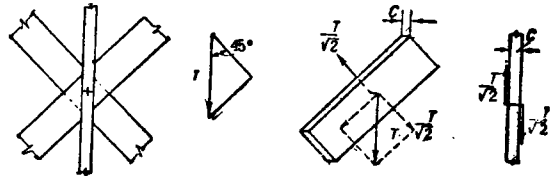
$$l_{\text{расч}} = 0,5b \sqrt{2} \quad (\text{при } \alpha = 45^\circ)$$

Преобразовывая ф-лу (31), получим:

$$n = \frac{T}{c} \left( \frac{1}{\varphi} + 1,82 \frac{e}{c} \right) \leq [n_-]. \quad (32)$$

### д) Расчет гвоздей

д) Гвоздевой забой по стойкам рассчитывается следующим образом. Усилие, приходящееся на гвозди, принимается по схеме, показанной на фиг. 4.



Фиг. 4. Схема работы гвоздя

Из условия изгиба гвоздя имеем:

$$T_{\text{из}} = 304d^2.$$

Из условия смятия (несимметричного) средней доски имеем:

$$T_{\text{см}} = 0,4 [n_c] c d = 32c d.$$

Число гвоздей на единицу длины стойки определится по формулам:

$$m_1 = \frac{\Delta N}{304d^2}; \quad (33)$$

$$m_2 = \frac{\Delta N}{\sqrt{2} \cdot 32c d} \approx \frac{\Delta N}{45c d}; \quad (34)$$

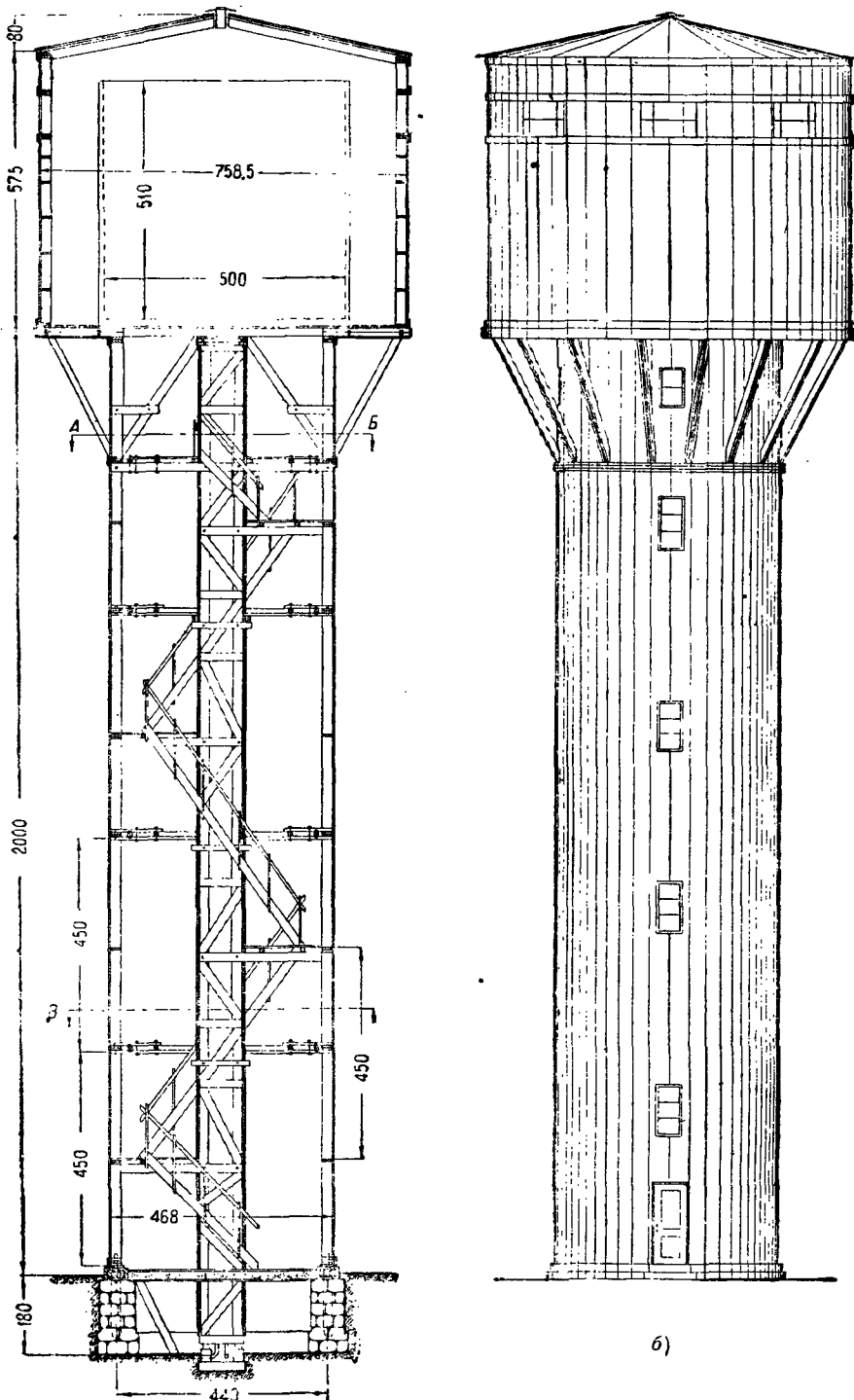
где  $c$  — толщина доски;

$d$  — диаметр гвоздя.

Вверху и внизу прикрепления концов косой обшивки к кольцам должны быть рассчитаны на полное сдвигающее усилие  $T$ . Учитывая попадание гвоздей в щели, расчетное число гвоздей рекомендуется увеличивать на 10—20%.

Косая обшивка имеет стыки, располагаемые обычно по стойкам вразбежку. Ввиду наличия стыков гвоздевой забой по стойкам должен быть увеличен с таким расчетом, чтобы на половине длины доски располагалось количество гвоздей  $m_{\text{ст}}$ , необходимое для передачи доске действующего в ней усилия.

<sup>1</sup> Рассматривая сжатие досок обшивки, считаем ослабление в стыках равным нулю.



а) 1  
Фиг. 5. Общий вид и разрез водонапорной башни

Необходимое количество гвоздей может быть принято равным:

$$m_{cm} = \frac{\mu T b_0}{T_{ic}}; \quad (35)$$

здесь  $T$  — сдвигающее усилие в сечении, где находится стык, определяемое по ф-ле (24);

$b_0$  — ширина доски;

$T_{ic}$  — допускаемое усилие на гвоздь, принятое равным:

$$T_{ic} = 0,6 [n_c] cd = 48cd$$

или

$$T_{ic} = 304d^2;$$

$\mu$  — коэффициент, значение которого берется из табл. 1.

Через  $i$  обозначено число промежутков между стойками, перекрытых одной доской обшивки; допускать  $i < 4$  не рекомендуется.

Таблица 1

|       |               |               |                 |               |                 |               |
|-------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| $i$   | 3             | 4             | 5               | 6             | 7               | 8             |
| $\mu$ | $\frac{3}{2}$ | $\frac{3}{2}$ | $\frac{25}{13}$ | $\frac{5}{3}$ | $\frac{49}{25}$ | $\frac{7}{4}$ |

Количество гвоздей на единицу длины стойки из условия перекрытия стыков:

$$m_3 = \frac{\eta T}{T_{ic}}, \quad (36)$$

где  $\eta$  — коэффициент, значение которого берется из табл. 2.

Таблица 2

|        |   |   |                 |               |                 |               |
|--------|---|---|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| $i$    | 3 | 4 | 5               | 6             | 7               | 8             |
| $\eta$ | 1 | 1 | $\frac{10}{13}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{14}{25}$ | $\frac{1}{2}$ |

Таким образом расчетными формулами для определения числа гвоздей на погонную единицу длины стойки будут ф-лы (33), (34) и (36).

В оконных и дверных проемах конец каждой доски косой обшивки должен быть прикреплен на полное усилие в доске, равное:

$$D = \mu T b_0. \quad (37)$$

### 3) Пример расчета водонапорной башни-оболочки

На фиг. 5—9 представлен проект водонапорной башни оболочки под бак емкостью 100 м<sup>3</sup>. Высота башни — 26,55 м, диаметр 4,68 м.

Башня имеет 16 стоек сечением из трех досок 20 × 5 см; по стойкам напита перекрестная обшивка из досок толщиной 1,6 см, направленная к стойкам под углом 45°. Внутри башни поставлены 4 жестких диафрагмы на расстоянии 4,5 м одна от другой. Для поддержания лестницы использован короб, утепляющий трубы. Поверх стоек расположены радиальные балки, площадки под бак, опирающиеся на наружный и внутренний подкосы. Верхние концы внутренних подкосов упираются в кружальное кольцо, нижние — в стойки. Распор воспринимается кольцом из полосового железа с двумя стяжными замками. Шатер образован 16 стойками сечением из двух досок 15 × 5 см.

Снаружи стойки обшиты перекрестной обшивкой из досок толщиной 1,6 см, внутри — фанерой, осмоленной с внутренней стороны и покрытой масляной краской с лицевой стороны. Для уменьшения огнеопасности корпус башни и шатер оштукатурены. Кровля — из оцинкованного железа. Для выхода водяных паров предусмотрены продухи. Увлажнение конструкции поддой из бака предотвращено устройством поддона, откуда вода отводится по трубе, помещенной внутри короба. Нагрузки:

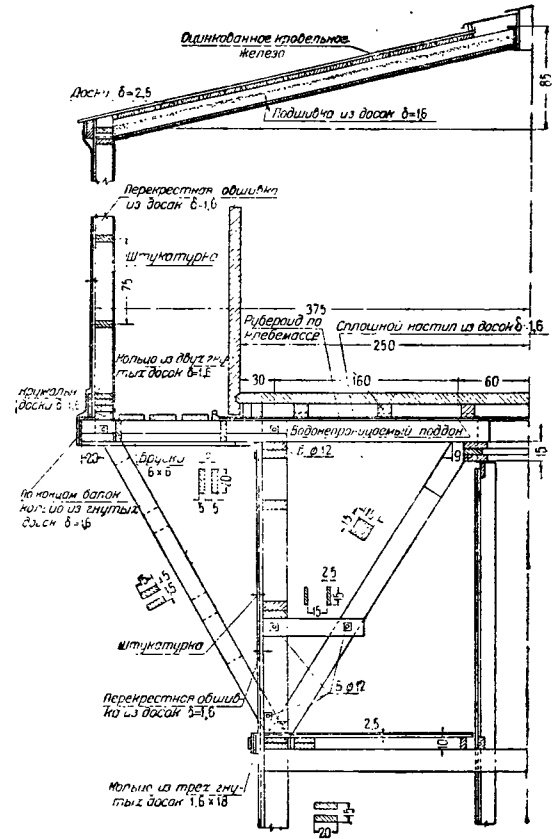
Вес всей башни . . . 32 000 кг  
 Вода в баке . . . 100 000 »

Всего 132 000 кг

Ветровые нагрузки:

$$p_{ш} = 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ кг/м}^2$$

$$p_0 = 0,6 \cdot 45 = 27 \text{ »}$$



Фиг. 6. Шатер и опорная площадка (продольный разрез и фиг. 5)

### а) Расчет элементов рабочей площадки (фиг. 6, 7 и 10)

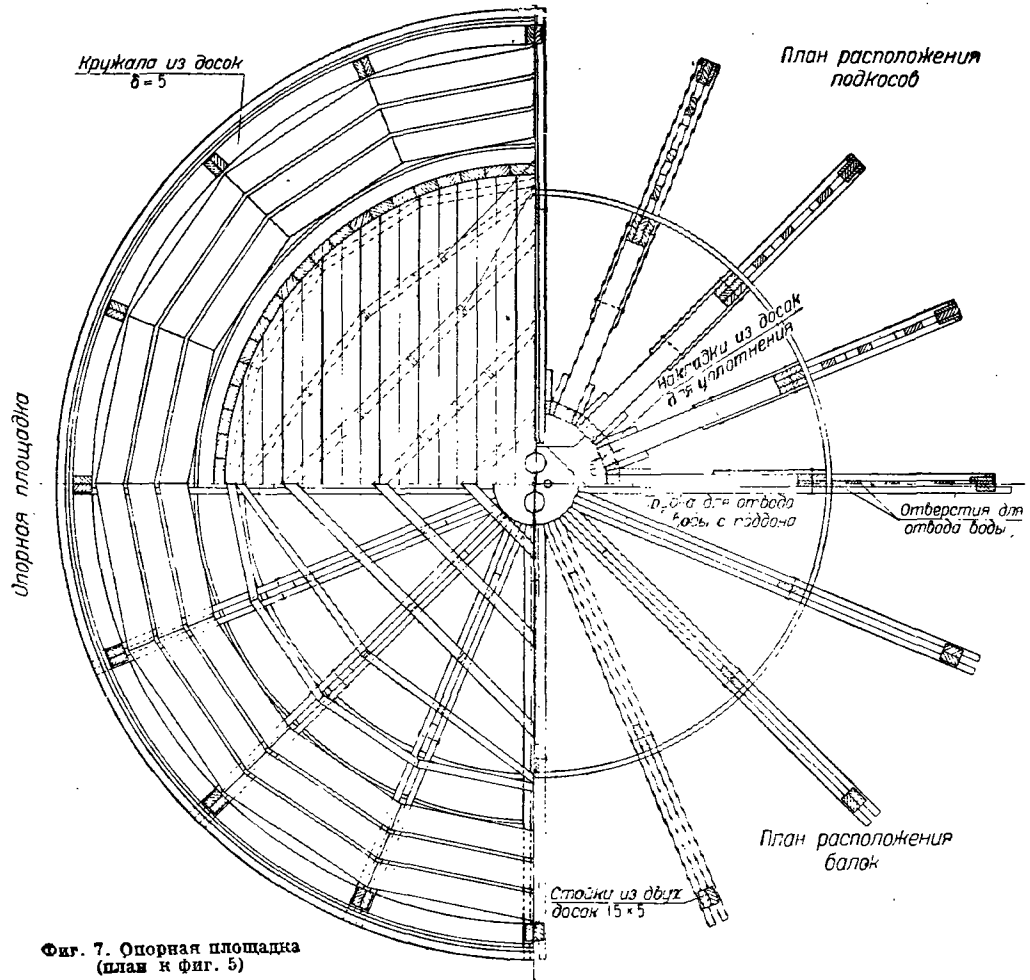
$$R_1 = 1 970 \text{ кг}; \quad R_2 = 4 890 \text{ кг}; \quad R_3 = 260 \text{ кг};$$

$$M_{max} = 615 \text{ кг}.$$

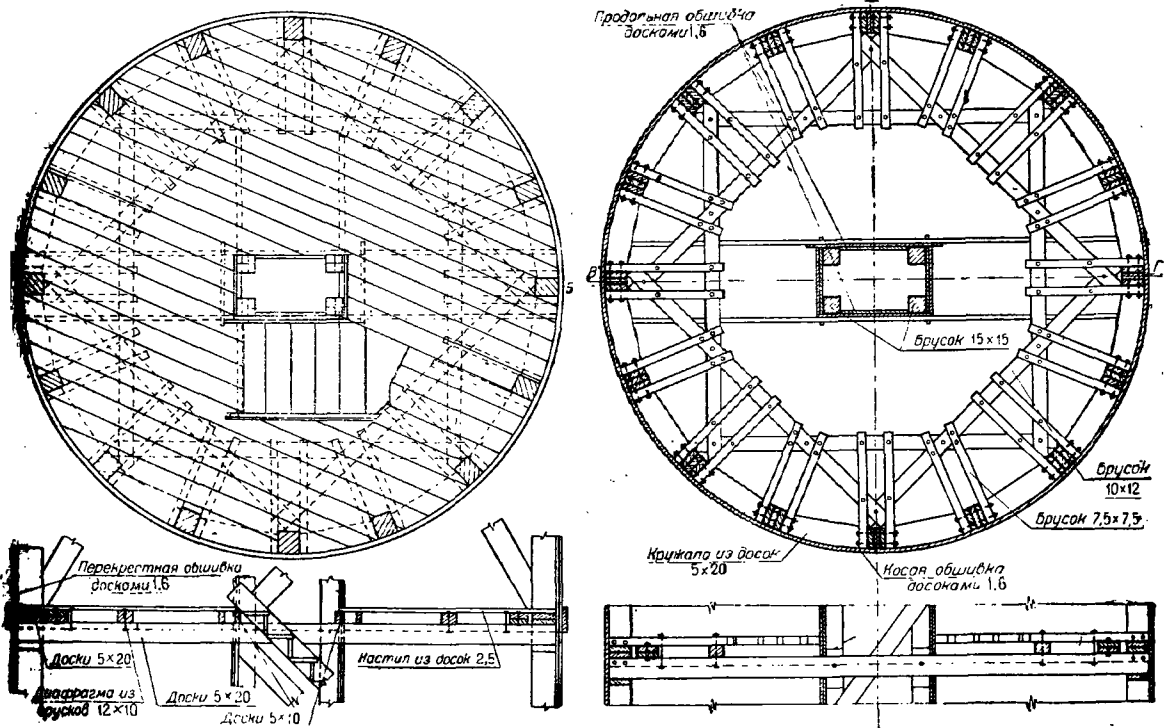
Балки выполнены из досок 2 × 5 × 20 см.

$$W = 2 \cdot 333 = 666 \text{ см}^2;$$

$$n = \frac{61 500}{666} = 92 \text{ кг/см}^2$$



Фиг. 7. Опорная площадка (план к фиг. 5)



Фиг. 8. Диафрагма верхняя: разрез башни по А—Б (фиг. 5)

Фиг. 9. Разрез башни по В—Г (фиг. 5)

Проверка на смятие на опорах:

$$F'_{см} = 2 \cdot 5 \cdot 20,0 = 200 \text{ см}^2;$$

$$n_{см} = \frac{4890}{200} = 24,5 \text{ кг/см}^2;$$

$$F''_{см} = 2 \cdot 5 \cdot 9 = 90 \text{ см}^2;$$

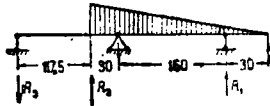
$$n_{см} = \frac{1970}{90} = 20 \text{ кг/см}^2.$$

Проверка на смятие в упорном кольце (фиг. 11):

$$H = 1970 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 1040 \text{ кг};$$

$$F_{см} = 15 \cdot 15 = 225 \text{ см}^2;$$

$$n_{см} = \frac{1040}{225} = 4,6 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 10. Схема загрузки

Проверка на смятие по врубке подноса (фиг. 12):

$$N = \frac{1970}{\cos 30^\circ} = 2280 \text{ кг};$$

$$F_{см} = 5 \cdot 15 = 75 \text{ см}^2;$$

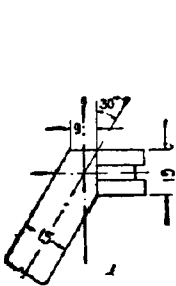
$$n_{см} = \frac{2280}{75} = 30 < 47 \text{ кг/см}^2 \text{ (для } 30^\circ).$$

Проверка подноса на продольный изгиб (фиг. 6):

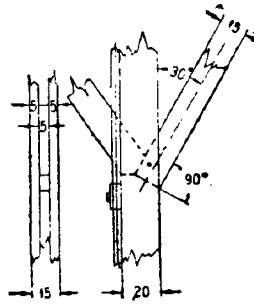
$$\frac{l}{h} = \frac{330}{15} = 20;$$

$$\varphi = 0,5;$$

$$n = \frac{2280}{15 \cdot 15} = 10 \text{ кг/см}^2 < (0,5 \cdot 100).$$



Фиг. 11. Упор подноса в упорном кольце



Фиг. 12. Упор подноса в стойках

Усилие в кольце (фиг. 6 и 11):

$$P = \frac{1040 \cdot 15}{2\pi r} \cdot r = 2650 \text{ кг};$$

принято полосовое железо сечением:

$$F = 0,5 \cdot 6 = 3,0 \text{ см}^2;$$

$$n = \frac{2650}{3,0} = 890 \text{ кг/см}^2.$$

б) Расчет стоек

Усилие на стойку [ф-лы (3), (8), (9)]:

$$N_0 = \frac{132000}{16} = 8250 \text{ кг};$$

$$\mu = \frac{468}{440} = 1,06;$$

$$2m = 16;$$

$$\eta = \frac{760}{440} = 1,73;$$

$$N_1 = 1,06 \cdot \frac{27 \cdot 20^2}{8} +$$

$$+ 1,73 \frac{30 \cdot 6}{8} (6 + 2 \cdot 20) = 3220 \text{ кг}.$$

Гибкость башни [ф-ла (15)]:

$$\lambda = 2\sqrt{2} \frac{20}{2,2} = 25,7;$$

$$\varphi_y = 0,82.$$

Гибкость стойки:

$$\frac{l_1}{h} = \frac{450}{20} = 22,5;$$

$$\varphi_1 = 0,45.$$

Напряжение [ф-ла (28)]:

$$n = \frac{3220}{0,45 \cdot 15 \cdot 20} +$$

$$+ \frac{8250}{0,45 \cdot 0,82 \cdot 15 \cdot 20} = 99 \approx 100 \text{ кг/см}^2.$$

в) Расчет кривой обшивки

Усилия [ф-лы (19), (22) и (32)]:

$$T_1 = \frac{2(1,06 \cdot 27 \cdot 20 + 1,73 \cdot 30 \cdot 6)}{\pi} \approx 560 \text{ кг};$$

$$T_0 = \frac{1,13}{2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{16}} \left( \frac{1}{0,82} - 1 \right) \frac{8250}{200} = 258 \text{ кг/м};$$

$$T = 560 + 258 = 818 \text{ кг/м}$$

$$\frac{l}{h} = \frac{64}{1,6} = 40,$$

$$\varphi = 0,15;$$

$$n = \frac{8,18}{1,6} \left[ \frac{1}{0,15} + 1,82 \frac{4,5}{1,6} \right] = 60,5 < 100 \text{ кг/см}^2.$$

г) Расчет гвоздевого забора по стойкам

[ф-лы (41), (43), (44), (33), (34) и (36)]:

$$\Delta N_1 = \frac{2}{8} (1,06 \cdot 27 \cdot 20 + 1,73 \cdot 30 \cdot 6,0) \times 1,03 = 230 \text{ кг/см};$$

$$\Delta N_0 = 1,13 \left( \frac{1}{0,82} - 1 \right) \frac{8250}{20} = 103 \text{ кг/м};$$

$$\Delta N = 230 + 103 = 333 \text{ кг/м}.$$

Стыки досок кривой обшивки располагаются на стойках; стыкуется каждая четвертая доска по длине стойки ( $i = 4$ ), что соответствует длине доски около 6,5 м.

Число гвоздей  $d = 3$ ,  $l = 8$  мм на 1 м стойки [ф-лы (33), (34), (36)]:

$$m_1 = \frac{333}{304 \cdot 0,32} = 12 \text{ шт.};$$

$$m_2 = \frac{333}{45 \cdot 1,6 \cdot 0,3} = 15,5 \text{ шт.};$$

$$m_3 = \frac{1 \cdot 818}{48 \cdot 1,6 \cdot 0,3} = 36 \text{ шт.}$$

Принимаем 37 шт. (по 3 гвоздя через 8 см). Это количество гвоздей сохраняем на нижней половине башни.



Для верхней половины повторяем расчет по тем же формулам:

$$\Delta N'_0 = \frac{2}{8} (1,06 \cdot 27 \cdot 20 + 1 \cdot 73 \cdot 30 \cdot 60) \times 1,03 = 154 \text{ кг/см};$$

$$\Delta N'_0 = 103 \text{ кг/м};$$

$$\Delta N' = 154 + 11,3 = 257 \text{ кг/м}.$$

Необходимое число гвоздей на 1 м стойки в верхней половине башни:

$$m'_2 = \frac{257}{333} \cdot 36 = 28 \text{ шт};$$

принимаем  $m'_2 = 27$  шт. (по 3 гвоздя через 11 см).

д) Расчет гвоздевого забоя в стыке стоек

При пустом баке усилие, растягивающее стойку:

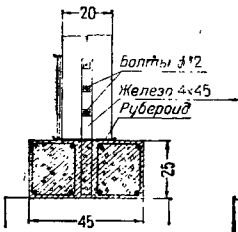
$$N_0 = \frac{32 \cdot 000}{16} = 2 \cdot 000 \text{ кг};$$

$$N_1 = 3 \cdot 220 \text{ кг};$$

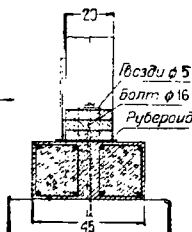
$$N_{\pm} = 3 \cdot 220 - 2 \cdot 000 = 1 \cdot 220 \text{ кг}.$$

Необходимое число двурезных гвоздей  $d=5$  мм по одну сторону стыка:

$$m = \frac{1 \cdot 220}{2 \cdot 76} = 8 \text{ шт}.$$



Фиг. 13. Прикрепление стойки к фундаменту



Фиг. 14. Прикрепление досок обшивки к фундаменту

Стойка прикрепляется к фундаменту анкером из полосового железа сечением  $4 \times 45$  мм (фиг. 13):

$$F_{\text{нетто}} = [0,4 (4,5 - 1,2)] \cdot 2 = 2,6 \text{ см}^2;$$

$$n = \frac{1 \cdot 220}{2,6} = 470 \text{ кг см}^2.$$

Усилие на срез каждого из трех двурезных болтов  $d=12$  мм:

$$T_n = \frac{1 \cdot 220}{2 \cdot 3} = 204 < 240 \text{ кг}.$$

Расчет гвоздевого забоя по нижнему горизонтальному кольцу.

Усилие  $T = 818$  кг/м;  $d = 4$  мм;  $l = 1000$  мм.

Необходимое число гвоздей на 1 м кольца:

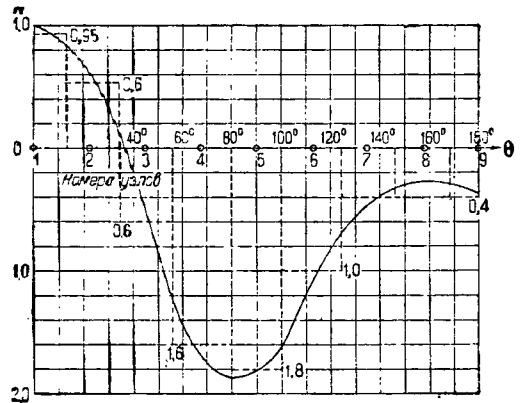
$$m = \frac{818}{45 \cdot 1,6 \cdot 0,4} \cdot 1,1 = 31,2 \text{ шт}.$$

Усилия передаются фундаменту двумя болтами  $d = 26$  мм на 1 м периметра кольца (фиг. 14):

$$T_n = \frac{818}{2 \cdot 2} = 409 < 428 \text{ кг}.$$

Диафрагма. Для определения давления ветра на каждый узел диафрагмы (фиг. 9) воспользуемся графиком давления ветра (фиг. 1).

Примем значения для  $k$  в формуле  $p_v = kq$  согласно фиг. 15.



Фиг. 15. Загрузка диафрагмы

Расстояние между диафрагмами  $l_0 = 4,5$  м. Ширина полосы, приходящаяся на один узел:

$$b_0 = \frac{\pi \cdot 4,68}{16} = 0,92 \text{ м};$$

$$q = 45 \cdot 4,5 \cdot 0,92 = 185 \text{ кг}.$$

На узлы диафрагмы действуют усилия:

$$p_1 = 0,95 \cdot 185 = +176 \text{ кг}$$

$$p_2 = 0,5 \cdot 185 = +110 \text{ »}$$

$$p_3 = 0,6 \cdot 185 = -110 \text{ »}$$

$$p_4 = 1,6 \cdot 185 = -295 \text{ »}$$

$$p_5 = 1,8 \cdot 185 = -333 \text{ »}$$

$$p_6 = 1,0 \cdot 185 = -185 \text{ »}$$

$$p_7 = 0,4 \cdot 185 = -74 \text{ »}$$

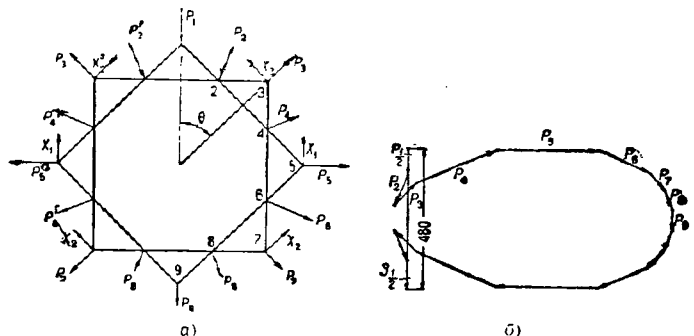
$$p_8 = 0,4 \cdot 185 = -74 \text{ »}$$

$$p_9 = 0,4 \cdot 185 = -74 \text{ »}$$

нормальные к поверхности башни.

Равнодействующая этих усилий (фиг. 16, б):

$$\Delta Q = 480 \text{ кг}.$$



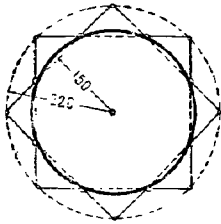
Фиг. 16. Определение нагрузок на диафрагму

Усилие  $\Delta Q$  уравновешивается усилиями  $X_1$  и  $X_2$ , приложенными в шести точках окружности и действующими в направлении касательных к оболочке (фиг. 16, а). По ф-ле (24) получим:

$$X_1 = \frac{\Delta Q}{\pi r} \cdot 1 \cdot \frac{\pi r}{4} = \frac{480}{4} = 120 \text{ кг};$$

$$X_2 = \frac{480}{4} \cdot \sin 45^\circ = 85 \text{ кг}.$$

Применяя далее общие методы строительной механики, можно определить усилия в отдельных элементах диафрагмы. Схема диафрагмы представляет собой многократно статически неопределимую систему, поэтому определение усилий в ней довольно затруднительно. Напряжения в элементах диафрагмы можно приближенно найти, воспользовавшись ф-лами (25) — (27) для кольца. Для этого представим диафрагму в несколько измененной схеме (фиг. 17).



Фиг. 17. Схема диафрагмы

Сечение элементов диафрагмы:

$$F = 12 \cdot 10 = 120 \text{ см}^2;$$

$$W = 240 \text{ см}^3;$$

$$r = 1,5 \text{ м};$$

$$r + c = 2,2 \text{ м};$$

$$c = 0,7 \text{ м};$$

$$\alpha = 1 + \frac{0,7}{1,5} = 1,467.$$

При  $\theta = 0$  имеем:

$$M = 45 \cdot 4,5 \cdot 1,5 \cdot 2,2 \cdot 0,39 = +260 \text{ кгм};$$

$$N = 45 \cdot 45 (-0,03 \cdot 2,2 - 0,7 \cdot 1,467 \cdot 0,3) \approx -100 \text{ кг};$$

$$n = \frac{23 \cdot 0,39}{240} + \frac{100}{120} = 1,09 < 1,10 \text{ кг/см}^2;$$

при  $\theta = 90^\circ$

$$M = 260 \cdot \frac{0,36}{0,39} = 240 \text{ кгм};$$

$$N = 45 \cdot 4,5 \cdot 2,2 \cdot 0,96 = 430 \text{ кг};$$

$$n = \frac{2 \cdot 400}{240} + \frac{430}{120} = 1,1 < 1,10 \text{ кг/см}^2$$

### 3. Тонкостенная башня-оболочка (градирня)

#### 1) Описание

Гради́рня состоит из следующих элементов: 1) основания — обычно пространственной железобетонной рамы, где расположено оросительное устройство, и 2) вытяжной трубы — ствола градирни, осуществляемой из различных материалов, в частности из дерева. Размеры сооружения определяются теплотехническим расчетом. Ниже дано описание конструкции ствола градирни по типу деревянных башен-оболочек. Схема сооружения показана на фиг. 26.

Конструкцию ствола градирни, так же как и водонапорной башни-оболочки, составляют четыре основных элемента:

1. Стойки из досок или брусков, направленные по образующим ствола — цилиндра или усеченного конуса; по высоте стойки могут иметь переменное сечение, стыки их могут быть совмещенными или вразбежку.

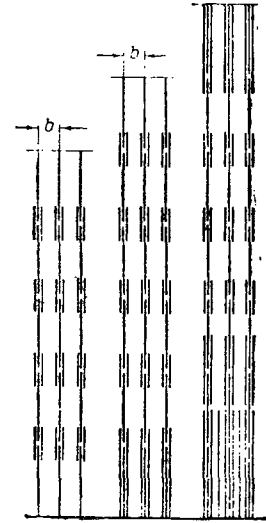
Примерные схемы разбивки стыков показаны на фиг. 18. Нижние концы стоек прикрепляются к фундаменту анкерами из полосового железа на болтах или глухарях.

2. Горизонтальные кольца из гнутых досок, врезаемых заподлицо в стойки. Горизонтальные кольца увеличивают жесткость сооружения, облегчают производство работ и вместе со стойками образуют каркас, к которому прикрепляется косая обшивка.

3. Косая перекрестная обшивка по стойкам и кольцам наклонена к ним, как правило, под углом  $45^\circ$ ; обшивка может быть

в «елку» или односторонней в каждом слое (по расчете это не отражается). Стыки косой обшивки можно располагать: а) по горизонтальным сечениям (фиг. 19, а); б) по стойкам вразбежку (фиг. 19, б); в) комбинируя схемы а и б.

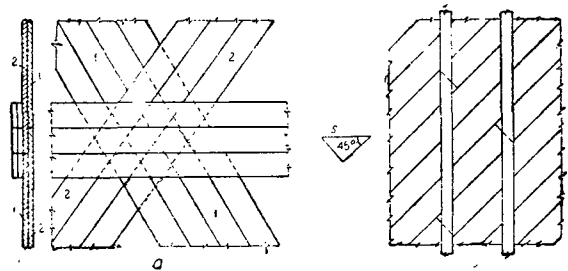
Нижние концы косой обшивки прочно прикрепляются к фундаменту.



Фиг. 18. Схема стоек

4. Верхняя диафрагма необходима для увеличения жесткости сооружения и уменьшения расчетных усилий. Диафрагма может быть выполнена в виде кольца, жесткого в горизонтальной плоскости, или в виде обода с металлическими тягами, направленными по хордам или по радиусу (по типу велосипедного колеса).

При испытании модели башни-оболочки в ЦНИПС ( $H = 4 \text{ м}$ ,  $D_n = 3,68 \text{ м}$ ,  $D_o = 2,88 \text{ м}$ ) наличие верхней диафрагмы позволило увеличить



Фиг. 19. Стыки косой обшивки

горизонтальную нагрузку (эквивалентную ветровой) по сравнению с расчетной (нагрузки по Единым нормам 1930 г.) в два с половиной раза. Без верхней диафрагмы при нагрузке, равной половине расчетной, модель получила настолько большие деформации, что дальнейшее нагружение было прекращено во избежание порчи модели.

Для удлинения срока службы сооружения древесину градирни необходимо крестотировать хотя бы на месте постройки методом горяче-холодной ванны. Все механическую обработку материала следует делать до пропитки. Гвозди

и глухари должны быть оцинкованы, болты покрыты асфальтовым лаком до и после установки.

На фиг. 20 приведена фотография модели ствола градирни, сконструированной и испытанной ЦНИПС в 1931 г.

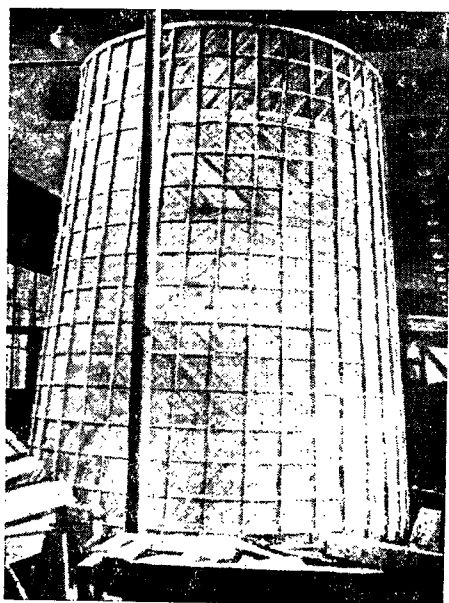
На фиг. 21 приведена фотография градирни в г. Вольске, впервые осуществленной в виде башни-оболочки<sup>1</sup>.

На фиг. 22 приведена фотография строящихся градирен в Сталиногорске.

2) Расчет

а) Нагрузки

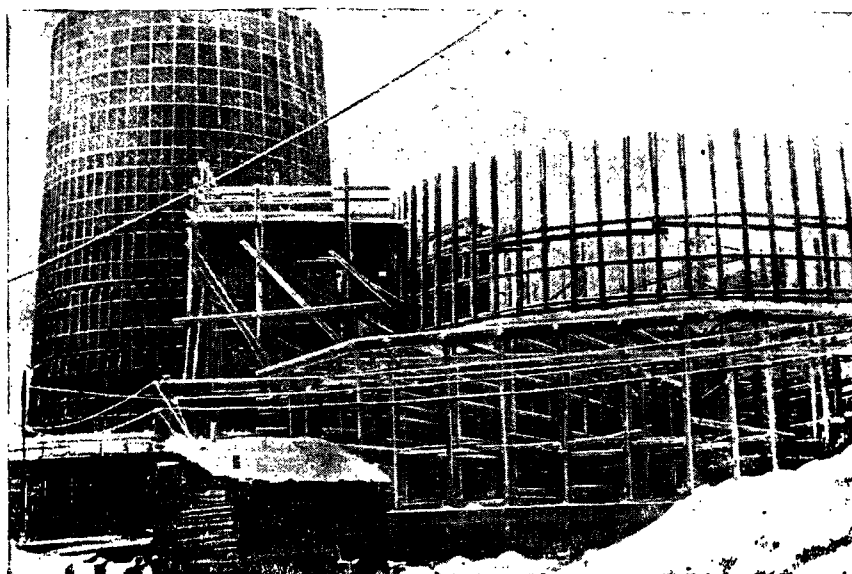
Нагрузки на башню составляют из собственного веса  $Q_s$  и давления ветра  $p_s = kq$ .



Фиг. 20. Модель



Фиг. 21. Первая градирня (г. Вольск)



Фиг. 22. Сталиногорская градирня

<sup>1</sup> Проект «Котлогурбины» 1932 г.

Значение  $q$  берется по нормам, значение  $k$  — из графика (фиг. 4).

б) Расчетные усилия от горизонтальных нагрузок

Обозначения:  $r$  — радиус цилиндра;  $h$  — высота цилиндра;  $T_1$  — усилия вдоль образующей (вертикальные);  $T_2$  — усилия по касательной к поперечному сечению цилиндра (горизонтальные);  $S$  — сдвигающие усилия.

Ниже приведены окончательные<sup>1</sup> приближенные значения расчетных усилий  $T_1$ ,  $T_2$  и  $S$ , определенные с учетом влияния верхней диафрагмы (как бесконечно-жесткого в своей плоскости диска), но без учета влияния крутящих и изгибающих моментов.

Ввиду того что влияние этих моментов в тонкостенных башнях-оболочках невелико, такой расчет дает достаточно точные для практических целей результаты:

$$T_1 = \frac{qh^2}{r} \left[ \frac{A_n}{2} (1 - \xi)^2 - \left( \frac{3}{8} A_n - B \right) (1 - \xi) \right] = \frac{qh^2}{r} \alpha. \quad (38)$$

Положительное значение соответствует растяжению. Приращение  $T_1$  на погонную единицу высоты:

$$\delta T_1 = \frac{qh}{r} \left[ A_n (1 - \xi) - \left( \frac{3}{8} A_n - B \right) \right] = \frac{qh}{r} \beta; \quad (39)$$

Таблица 3

| $r$ | $A_n = 2r^2 \cos^2 \theta$ | $C_n = 2r^2 \sin^2 \theta$ | $B = 0,1188 \cos \theta$ | $D = 0,1188 \sin \theta$ |
|-----|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0   | +5,7                       | 0                          | +0,1125                  | 0                        |
| 20  | +4,884                     | +1,901                     | +0,1055                  | +0,0385                  |
| 40  | +1,42                      | +3,097                     | +0,086                   | +0,0723                  |
| 60  | -2,35                      | +2,60                      | +0,056                   | +0,0975                  |
| 80  | -7,537                     | +0,356                     | +0,0196                  | +0,1105                  |
| 90  | -6,6                       | -0,9                       | 0                        | +0,1125                  |
| 100 | -4,04                      | -1,844                     | -0,0196                  | +0,1105                  |
| 120 | +2,55                      | -2,08                      | -0,056                   | +0,0975                  |
| 140 | +4,56                      | -0,833                     | -0,086                   | +0,0723                  |
| 160 | +0,72                      | +0,383                     | -0,1055                  | +0,0385                  |
| 180 | -2,1                       | 0                          | -0,1125                  | 0                        |

$$T_2 = qr [-0,6 + 0,3 \cos \theta + 1,05 \cos 2\theta + 0,4 \cos 3\theta - 0,15 \cos 4\theta] = qrk; \quad (40)$$

$$S_x = qh \left[ C_n \left( \frac{5}{8} - \xi \right) + D \right] = qh\mu. \quad (41)$$

Приращение  $S$  на погонную единицу высоты

$$\delta S = qc_n. \quad (42)$$

В этих формулах  $\xi$  — отношение расстояния рассматриваемой точки от низа башни ко всей ее высоте.

Значения  $A_n$ ,  $C_n$ ,  $B$  и  $D$  приведены в табл. 3; величины коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\mu$  для наибольших значений усилий даны на графиках (фиг. 23, 24 и 25).

<sup>1</sup> Вывод см. журнал «Проект и стандарт» № 6 за 1933 г., стр. 27—28.

В случае отсутствия верхнего кольца член

$$\frac{3}{8} A_n - B = 0;$$

$$T_1 = \frac{qh^2}{r} \left[ \frac{A_n}{2} (1 - \xi)^2 \right]; \quad (43)$$

$$\delta T_1 = \frac{qh}{r} [A_n (1 - \xi)]; \quad (44)$$

$$S = -qh [C_n (1 - \xi)]; \quad (45)$$

величины  $\delta S$  и  $T_2$  не изменяются.

в) Расчет элементов башни

Расчет элементов производится в предположении, что усилия  $T_1$  воспринимаются стойками,  $T_2$  — кольцами и  $S$  — косою обшивкой. Ввиду того что направление ветра может быть различным, каждое сечение должно быть рассчитано на наибольшее усилие для данного сечения.

Коэффициент снижения допускаемых напряжений принимается равным  $0,85 \cdot 0,85 = 0,72$ , где  $0,85$  учитывает незащищенность сооружения,  $0,85$  — увлажняющее воздействие паров.

Самые стойки, их стыки и прикрепление к основанию рассчитываются на растягивающее усилие  $P$ , определяемое по формуле:

$$P = T_1 b - \frac{g_x}{2m}, \quad (46)$$

где  $g_x$  — вес вышерасположенной части башни;  $2m$  — число стоек;

$b$  — расстояние между стойками.

Гвоздевой забой по стойке рассчитывается на приращение  $P$  по высоте:

$$\delta P = \delta T_1 b - \frac{g}{2m}, \quad (47)$$

где  $g$  — собственный вес башни на единицу высоты. Количество гвоздей на единицу высоты стойки определяется по формулам из условия изгиба гвоздя:

$$m_1 = \frac{\delta P}{258d^2} \quad (48)$$

или из условия несимметричного смятия:

$$m_2 = \frac{\delta P}{2 \cos \alpha 23cd}, \quad (49)$$

где  $c$  — толщина доски косою обшивки в см;  $d$  — диаметр гвоздя в см;

$\alpha$  — угол наклона косою обшивки к вертикали.

Косая обшивка рассчитывается на усилие  $S$ . Проверка обшивки на сжатие [см. ф-лу (32)]:

$$[n] = \frac{S_{max}}{c} \left( \frac{1}{\varphi} + 1,82 \frac{e}{c} \right). \quad (50)$$

Стык одной доски должен воспринять растягивающее усилие:

$$N_1 = S_x b_0, \quad (51)$$

где  $S_x$  — сдвигающее усилие, определяемое по ф-ле (41);

$b_0$  — ширина доски.

Если это условие не обеспечено, то стык в работе не учитывается. В таком случае гвоздевой забой по стойкам [если стыки расположены по стойкам (фиг. 19, б)] должен быть усилен (см. выше). При стыках по горизонтальному сечению (фиг. 19, а) прикрепление досок 1—1 должно быть рассчитано на усилие:

$$N = \frac{S_x}{2 \sin \alpha}. \quad (52)$$

Допускаемое усилие на один срез гвоздя:

$$T_{из} = 258d^2 \quad (53)$$

или

$$T_{из} = 0,6 \cdot 0,72 \cdot 80 = 34,5cd, \quad (54)$$

где  $c$  — толщина доски косой обшивки.

Скрепление верхних и нижних досок 2—2 по плоскости их соприкосновения должно быть рассчитано на полное усилие  $S_x$ . Число гвоздей на единицу длины кольцевой доски:

$$m_2 = \frac{S_x}{T_{из}}. \quad (55)$$

Горизонтальные кольца необходимы для обеспечения зацементации гвоздей в стыках. Прикрепление обшивки к верхнему кольцу должно быть рассчитано на полное усилие  $S_{max}$ , возникающее у верхнего кольца и соответственно у основания.

Верхнее кольцо воспринимает сдвигающие усилия  $S$  при  $\xi = 1$ :

$$S = qh \left( \frac{3}{8} C_n - D \right). \quad (57)$$

Приведем подстановку значений  $C_n$  и  $D$ , получим:

$$S = \frac{3}{8} qhn a_n \sin n\theta, \quad (58a)$$

где

$$n = 2, 3, 4, \dots \quad (58)$$

В случае приложения такой нагрузки по внутренней стороне кольца с постоянным моментом инерции в кольце возникают усилия:

$$M = -qhr^2 \left[ \frac{3}{8} a_n \frac{\frac{c}{r} n^2 + 1}{n^2 - 1} \cos n\theta \right]; \quad (59)$$

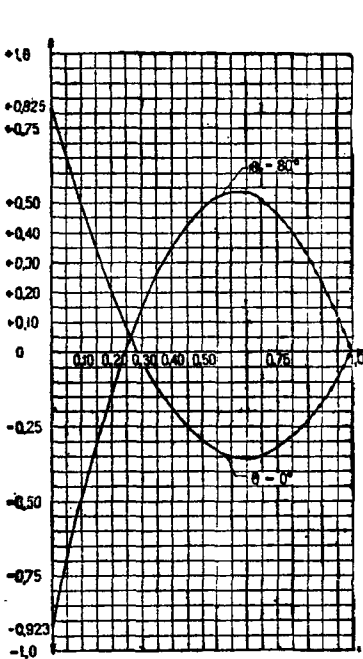


График для определения  $T_1$ ; значения  $\alpha$  при  $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 80^\circ$ :

$$T_1 = \alpha \frac{ql^2}{r}$$

Фиг. 23

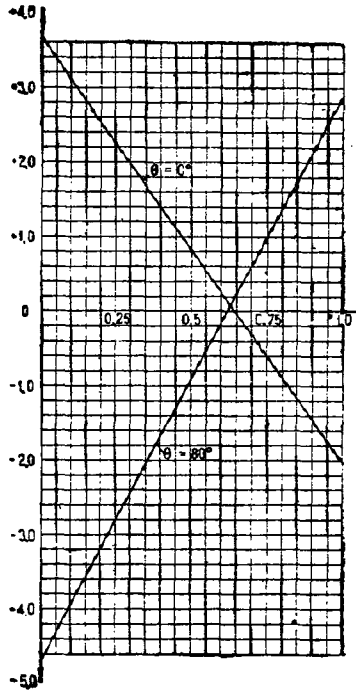


График для определения  $\delta T_1$ ; значения  $\beta$  при  $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 80^\circ$ :

$$\delta T_1 = \beta \frac{ql}{r}$$

Фиг. 24

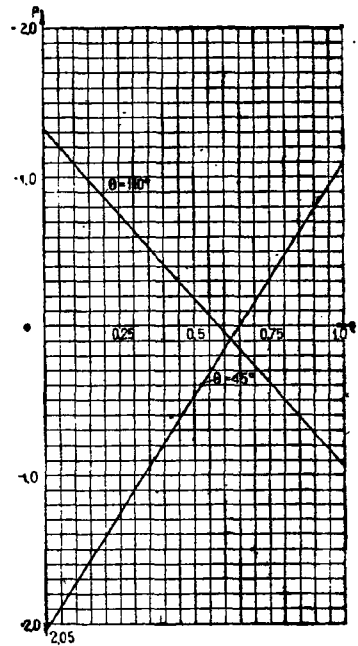


График для определения  $S$ ; значения  $\mu$  при  $\theta = 45^\circ$  и  $\theta = 110^\circ$ :

$$S = \mu ql = \frac{x}{l}$$

Фиг. 25

Гвоздевой забой по промежуточным кольцам, где нет стыков косой обшивки, рассчитывается на усилие  $\delta S l$ , где  $l$  — расстояние между кольцами.

Горизонтальные кольца рассчитываются на усилие:

$$H = T_2 l, \quad (56)$$

где  $l$  — расстояние между кольцами.

Как правило, напряжения в кольцах не достигают допускаемых. Кольца приходится конструировать, исходя из гвоздевой забой и конструктивных соображений. Желательно иметь:

$$l < 1,3 - 1,5 \text{ м.}$$

$$Q = qhr \left[ \frac{3}{8} a_n \frac{n}{n^2 - 1} \sin n\theta \right]; \quad (60)$$

$$N = -qhr \left[ \frac{3}{8} a_n \frac{n^2}{n^2 - 1} \cos n\theta \right], \quad (61)$$

где  $q$  — давление ветра в  $кг/м^2$ ;

$h$  — высота башни в  $м$ ;

$r$  — внутренний радиус кольца в  $м$ ;

$2c$  — ширина кольца;

$n = 2, 3, 4, \dots$

Более точно усилия в башне-оболочке могут быть определены по методу, предложенному В. З. Власовым<sup>1</sup>, учитывающим влияние

<sup>1</sup> Власов В. З. Моментная теория расчета цилиндрических оболочек. Проект и стандарт № 17 за 1933 г. и № 3 за 1934 г.

момента  $G_2$  в плоскости поперечного сечения оболочки. Этот метод позволяет учесть в расчете действительные жесткости башни по кольцевому сечению и верхнего кольца.

По этому методу усилия определяются следующим образом: от первого ( $a_0$ ) и второго ( $a \cos \theta$ ) членов разложения усилия определяются по безмоментной теории, от последующих же членов ( $a_n \cos n\theta$  при  $n \geq 2$ ) от каждого в отдельности — по формулам:

$$T_{1n} = qa (C_{1n}\Phi_{2n} + C_{2n}\Phi_{4n} + C_{3n}\Phi_{1n} + C_{4n}\Phi_{3n}) \cos n\theta; \quad (62)$$

$$G_n = qr \left( C_{1n}\Phi_{4n} - C_{2n}\Phi_{2n} - C_{3n}\Phi_{3n} + C_{4n}\Phi_{1n} + \frac{ra_n}{n^2-1} \right) \cos n\theta; \quad (63)$$

$$S_n = q \frac{am}{n} \left[ -C_{1n}(\Phi_{1n} - \Phi_{3n}) + C_{2n}(\Phi_{1n} + \Phi_{3n}) + C_{3n}(\Phi_{2n} + \Phi_{4n}) + C_{4n}(\Phi_{2n} - \Phi_{4n}) \right] \sin n\theta; \quad (64)$$

$$T_{2n} = qr^2 \left( C_{1n}\Phi_{4n} - C_{2n}\Phi_{2n} - C_{3n}\Phi_{3n} + C_{4n}\Phi_{1n} + \frac{ra_n}{(n^2-1)n^2} \right) \cos n\theta, \quad (65)$$

где

$$a = \frac{2\sqrt{3r}}{c_1};$$

$r$  — радиус оболочки;  
 $c_1$  — приведенная толщина оболочки по площади стоек;

$$m = n \sqrt{\frac{n^2-1}{2a} \left( \frac{c_0}{c_1} \right)^2},$$

$c_0 = \sqrt{\frac{12I_k}{h_0}}$  — приведенная толщина оболочки по жесткости колец (жесткостью косой обшивки пренебрегаем);  $I_k$  — момент инерции сечения промежуточного кольца;  $h_0$  — расстояние между промежуточными кольцами:

$$\Phi_{1n} = Chm\xi \sin m\xi;$$

$$\Phi_{2n} = Chm\xi \cos m\xi;$$

$$\Phi_{3n} = Shm\xi \cos m\xi;$$

$$\Phi_{4n} = Shm\xi \sin m\xi;$$

$$\xi = \frac{x}{r}.$$

Постоянные интегрирования ( $C_{kn}$ ) определяются из крайних условий.

При  $\xi = 0, u = 0, w = 0,$

тогда

$$C_2 = C_4;$$

$$C_3 = \frac{ra_n}{n^2-1};$$

при

$$\xi = \frac{H}{2}, T_1 = 0$$

и

$$G_k = \frac{12I_k}{c_0^3} G,$$

полученное из условия равенства деформации в края оболочки кольца.

Здесь  $H$  — высота башни;

$G_2$  — момент в верхнем кольце (диафрагме);  
 $G$  — момент в оболочке (см. выше);

$I_k$  — момент инерции сечения верхнего кольца;

$$G_k = \frac{br(n^2-1) + Kr}{n(n^2-1)} S_0,$$

$$S_n = S_0 \sin n\theta.$$

Используя равенства:

$$C_3 = C_4, C_2 = \frac{ra_n}{n^2-1};$$

получим:

$$S_0 = q \frac{am}{n} \left[ -C_{1n}(\Phi_{1n} - \Phi_{3n}) + \frac{ra_n}{n^2-1}(\Phi_{1n} + \Phi_{3n}) + C_{3n}2\Phi_{2n} \right] \text{ (см. выше);}$$

$2b$  — ширина верхнего кольца;

$R$  — радиус верхнего кольца по среднему сечению.

В. З. Власовым дано также более строгое решение задачи изгиба цилиндрической оболочки с учетом изгибающих моментов и деформаций удлинений по двум взаимно перпендикулярным направлениям (вдоль образующей и по дуге поперечного сечения). На основе этого решения можно рассчитать замкнутую цилиндрическую оболочку при любых условиях закрепления по контуру<sup>1</sup>.

### 3) Пример расчета тонкостенной башни-оболочки (градирни)

Деревянная башня-градирня, представляемая на фиг. 26, имеет размеры: радиус понизу  $r_n = 11,5$  м; радиус поверху  $r_e = 10,5$  м; радиус по середине  $r = 11$  м; высота  $h = 28$  м. Башня состоит из: 1) 60 стоек, составленных из досок  $6 \times 15$  см; 2) гнутых горизонтальных дощатых колец сечением  $2,5 \times 16$  см (промежуточные) и  $2,5 \times 20$  см (в месте стыка косой обшивки); 3) сплошной перекрестной косой обшивки из досок толщиной  $2,5$  см, направленных под углом  $45^\circ$  к стойкам. По высоте башня разбита на 7 секций. В нижних двух секциях стойки составлены из трех досок, в следующих секциях — из одной доски.

#### а) Нагрузки

Давление ветра по высоте принято постоянным  $p_e = 60$  кг/м<sup>2</sup> (соответствует давлению ветра на высоте 39 м над уровнем земли).

Собственный вес конструкции 105 м.

На единицу высоты:  
по высоте башни:

$$g = \frac{105 \cdot 000}{28} = 3750 \text{ кг/м};$$

по высоте одной стойки:

$$g_{ст} = \frac{3750}{58} = 65 \text{ кг/м}.$$

#### б) Расчет стоек

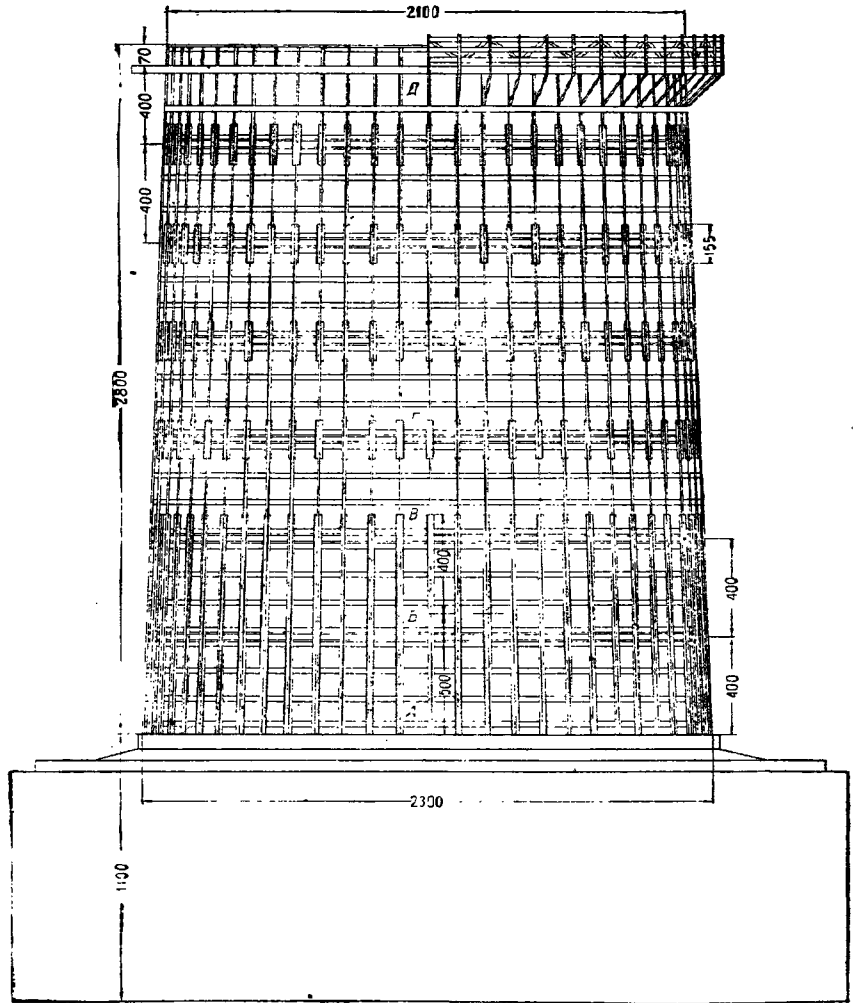
При расчете принято:

$$r = 11 \text{ м}$$

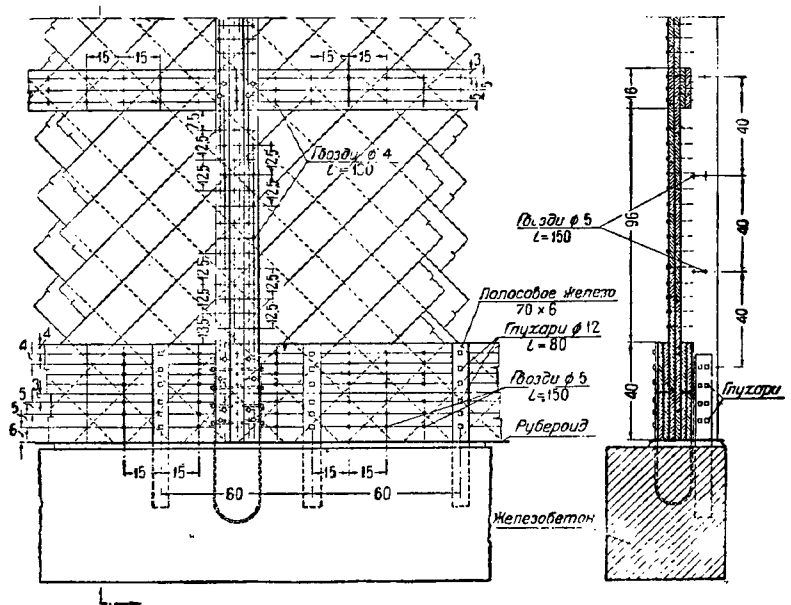
и расстояние между стойками:

$$b = \frac{2\pi \cdot 11}{60} = 1,15 \text{ м}.$$

<sup>1</sup> Власов В. З., Строительная механика оболочек; тт. X, ОНТИ 1936 г.



Фиг. 26. Общий вид башни-градирии



Фиг. 27. Деталь А Башни у основания

Растягивающее усилие в стойке у основания:

$$P_{\max} = 0,825 \cdot \frac{60 \cdot 28^2}{11,0} - 1,15 - 65 \cdot 28 = 2250 \text{ кг};$$

$$F_{\text{нетто}} = [2(10 \cdot 6) - 2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 12] = 91,2 \text{ см}^2$$

(в расчете учтены только две доски);

$$n_+ = \frac{2250}{91,2} = 25 \text{ кг/см}^2.$$

Стойки прикреплены к основанию (фиг. 27) хомутами из полосового железа сечением  $70 \times 6$  мм на глухарях  $d = 10$ ,  $l = 100$  мм. Допускаемое усилие на один срез глухаря (по графику ТУ и II):

$$T_n = \sqrt{0,72} \cdot 167 = 142 \text{ кг.}$$

Число глухарей:

$$m = \frac{2250}{142} = 16 \text{ шт.}$$

#### в) Расчет стыков стоек

Наибольшее растягивающее усилие, передаваемое на стык, имеет место на высоте 20 м:

$$P = 0,53 \frac{60 \cdot 28^2}{11,0} \cdot 1,15 - 65 \cdot 8 \approx 2090 \text{ кг.}$$

Для гвоздей  $d = 5$ ,  $l = 150$  мм имеем:

$$T_{10} = 64 \text{ кг}$$

(из условия изгиба гвоздя) или

$$T_{10} = 56 \text{ кг}$$

(из условия смятия гнезда при  $a = 28$  мм).

Необходимое количество гвоздей в стыке:

$$m = \frac{2090}{64 + 56} = 17,4 \text{ шт.}$$

Поставлено 20 шт. Это количество гвоздей сохраняется одинаковым для всех стыков

#### г) Расчет горизонтальных колец

Расстояние между кольцами  $l \approx 1,33$  м.

Наибольшее усилие:

$$T_2 = 1,8 \cdot 11,0 \cdot 60 \cdot 1,33 = 1580 \text{ кг};$$

$$F_{\text{нетто}} = 16 \cdot 2,5 = 40 \text{ см}^2;$$

$$n_+ = \frac{1580}{40} = 39,5 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет кривой обшивки. Наибольшее сдвигающее усилие  $S = 2,05 \cdot 60 \cdot 28 = 3450$  кг/м.

Толщина кривой обшивки:

$$c = 2,5 \text{ см.}$$

Стрела выгиба обшивки при длине дуги 1,2 м и  $r_n = 11,5$  м,  $e = 1,58$  см:

$$\frac{l_1}{h_1} = \frac{0,5 \cdot 120 \cdot \sqrt{2}}{2,5} \approx 34;$$

$$\varphi = 0,22;$$

$$n_- = \frac{34,50}{2,5} \left( \frac{1}{0,22} + 1,82 \frac{1,58}{2,5} \right) \approx 75 \text{ кг/см}^2.$$

Усилия  $S$  передаются к основанию анкерами из полосового железа сечением  $70 \times 6$  мм, заделанными в бетон.

Между стойками поставлено по 2 анкера (фиг. 27):

$$S = \frac{1,2 \cdot 3450}{2} = 2070 \text{ кг.}$$

Благодаря заземлению и достаточно большой жесткости полосового железа в плоскости действия усилия можно положить, что нагели работают равномерно.

Необходимо число глухарей (нагелей)  $d = 12$ ,  $l = 80$  мм с допускаемым усилием  $T_n = 205$  кг:

$$m = \frac{2070}{205} = 10,1 \text{ шт.};$$

поставлено 12 шт.

#### д) Расчет гвозденного забоя по кольцам

Кольцо у основания (фиг. 27):

$$S_{\max} = 3450 \text{ кг/м.}$$

Для гвоздей  $d = 5$ ,  $l = 150$  мм:

из условия изгиба гвоздя:

$$T_{10} = 258 \cdot 0,5^3 = 64,5 \text{ кг};$$

из условия смятия гнезда кривой обшивки:

$$T_{10} = 0,72 \cdot 80 \cdot 2,5 \cdot 0,5 = 72 \text{ кг};$$

Число гвоздей на 1 м кольца:

$$m_1 = \frac{3450}{\sqrt{2} \cdot 72} = 34 \text{ шт.};$$

$$m_2 = \frac{3450}{2 \cdot 64,5} = 27 \text{ шт.}$$

Число гвоздей в промежутке между двумя стойками (с запасом 10% на попадание в щели) будет

$$m = 34 \cdot 1,202 \cdot 1,1 = 45,5 \text{ шт.}$$

Поставлено 42 гвоздя и 12 глухарей.

Кольца в местах стыков секций

Секции 1—2 (фиг. 28):

$$S = 1 \cdot 6 \cdot 60 \cdot 28 = 2700 \text{ кг/м.}$$

Для гвоздей  $d = 4$ ,  $l = 100$  мм:

$$T_{10} = 34,5 \cdot 2,5 \cdot 0,4 = 34,5 \text{ кг.}$$

Число гвоздей на 1 м для крайнего кольца:

$$m_1 = \frac{2700}{\sqrt{2} \cdot 34,5} \cdot 1,1 = 61 \text{ шт.};$$

поставлено 64 шт.

Для среднего кольца:

$$m_2 = \frac{2700}{34,5} \cdot 1,1 = 86 \text{ шт.};$$

поставлено 88 шт. в шахмат.

Секции 2—3 (фиг. 29):

$$S = 1,12 \cdot 60 \cdot 28 = 1880 \text{ кг/м.}$$

Число гвоздей на 1 м:

для крайнего кольца:

$$m_1 = \frac{1880}{\sqrt{2} \cdot 34,5} \cdot 1,1 = 42,5 \text{ шт.};$$

поставлено 48 шт.;

для среднего кольца:

$$m_2 = \frac{1880}{34,5} \cdot 1,1 = 60 \text{ шт.};$$

поставлено 64 шт.

Секции 3—4 (фиг. 30):

$$S = 0,7 \cdot 60 \cdot 28 = 1180 \text{ кг/м.}$$











При  $\theta = 90^\circ$ :

$$M \approx 30\,500 \text{ кгм};$$

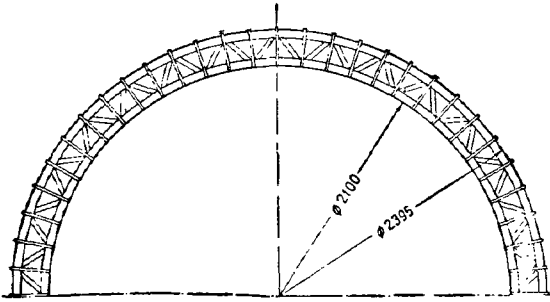
$$N \approx 10\,200 \text{ кг.}$$

Усилие в наружном поясе:

$$N_- = \frac{10\,200}{2} - \frac{30\,500}{1,2} = 5\,100 - 25\,400 \approx -20\,300 \text{ кг.}$$

Усилие во внутреннем поясе:

$$N_+ = 5\,100 + 25\,400 = +30\,500 \text{ кг.}$$



Фиг. 32. План кольца к Фиг. 26

Проверка напряжений:  
во внутреннем поясе:

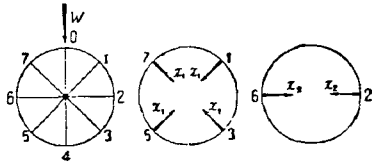
$$n_+ = \frac{30\,500}{350} + \frac{2}{3} \cdot \frac{30\,500 \cdot 1,45}{2\,460} = 99 \text{ кг/см}^2;$$

$$n_- = \frac{33\,000}{0,9 \cdot 500} + \frac{2}{3} \cdot \frac{33\,000 \cdot 1,45}{2\,460} \cdot \frac{100}{110} \approx 86,5 \text{ кг/см}^2;$$

в наружном поясе:

$$n_+ = \frac{2\,200}{350} + \frac{2}{3} \cdot \frac{2\,200 \cdot 1,65}{1\,750} = 77 \text{ кг/см}^2;$$

$$n_- = \frac{20\,300}{0,58 \cdot 500} + \frac{2}{3} \cdot \frac{20\,300 \cdot 1,65}{1\,750} \cdot \frac{100}{110} = 58 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 33

Усилие в раскосе:

при  $\theta = 45^\circ$  поперечная сила  $Q = 5\,300 \text{ кг.}$

$$P \approx \frac{5\,300}{\cos 45^\circ} = 7\,500 \text{ кг.}$$

Раскос прикрепляется к поясам нагелями  $d = 16 \text{ мм.}$  Допускаемое усилие на один срез нагеля:

$$T_n = 0,5 \cdot 5 \cdot 1,6 \cdot 0,85 \cdot 80 = 272 \text{ кг.}$$

Число четырехсрезовых нагелей для прикрепления раскоса:

$$m = \frac{7\,500}{4 \cdot 272} = 7.$$

Проверка раскоса на продольный изгиб:

$$F_{\text{брутто}} = (5 \cdot 180) \cdot 2 = 180 \text{ см}^2;$$

$$\frac{l}{h} = \frac{120 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot 5} = 17;$$

$$\varphi_1 = 0,60;$$

$$\lambda = \frac{l}{r} = \frac{120 \cdot \sqrt{2}}{7,64} = 22,3;$$

$$\varphi_y = 0,82;$$

$$\varphi = \varphi_1 \varphi_y = 0,60 \cdot 0,82 = 0,49;$$

$$n = \frac{7\,500}{180 \cdot 0,49} = 85 \text{ кг/см}^2.$$

Как видно, кольцо получается довольно громоздким. Кольцо можно облегчить постановкой тяг, направленных к центру, где они прикрепляются к жесткому диску (по типу велосипедного колеса).

Для того чтобы обеспечить возможность установки тяг без устройства лесов, в каждой тяге должны быть сделаны два шарнира: один — около деревянного кольца, другой — воде центрального жесткого диска. При наличии этих шарниров все тяги могут быть заготовлены на земле, затем подняты и установлены после изготовления башни. Концы тяг осаживаются на всю длину парезки. Во избежание быстрого ржавления тяги следует покрыть асфальтовым лаком, суриком на масле и т. п.

Усилия в тягах определяют расчет кольца. Так например, для кольца с восемью тягами (фиг. 33) усилия можно определить следующим образом: стержни 0 и 4 не работают (сжаты), в стержнях 1, 3, 5 и 7 ввиду симметрии внешней нагрузки возникают равные усилия  $X_1$ , а в стержнях 2 и 6 — равные усилия  $X_2$ . Если за основную статическую определим систему приняв кольцо, то два неизвестных усилия  $X_1$  и  $X_2$  могут быть определены из уравнения:

$$X_1 \delta_{11} + \delta_{12} X_2 + \delta_{1p} = 0;$$

$$X_1 \delta_{21} + X_2 \delta_{22} + \delta_{2p} = 0.$$

Для приближенного вычисления  $\delta_{ik}$  можно пренебречь влиянием нормальных и поперечных сил, определяя  $\delta_{ik}$  по формулам:

$$\delta_{ik} = \int_a^b \frac{M_i M_k ds}{EI}.$$

Для определения  $M_1$  и  $M_2$  следует использовать известные расчеты кольца, нагруженного сосредоточенными силами, направленными в противоположные стороны 1 по диаметру.

Для определения  $M_p$  следует использовать приведенный выше расчет [Ф-ла (59)] кольца, нагруженного касательными усилиями:

$$S = qh \left( \frac{3}{8} C_n - D \right)$$

или в развернутом виде:

$$S = \frac{3}{8} qh (2a_2 \sin 2\theta + 3a_3 \sin 3\theta + 4a_4 \sin 4\theta),$$

причем для определения усилий в тягах можно ограничиться первыми двумя членами, имеющими коэффициенты  $a_2$  и  $a_3$ .

<sup>1</sup> Проф. Тимошенко С. И., Сопротивление материалов, ОНТИ.

Инж. М. Ф. КОВАЛЬЧУК

## V. БАШНИ СИСТЕМЫ ШУХОВА

### 1. Общие сведения

Деревянная башня системы Шухова представляет собой однополый гиперболоид, образованный из прямых стержней, наклоненных к горизонту под углом  $70^\circ-75^\circ$  и пересечающихся между собою под углом  $30^\circ-40^\circ$ . Для того чтобы во всех пересечениях стержней обеспечить совпадение их граней, приходится стержни скручивать, принимая за ось кручения образующую гиперболоида, или в точках их пересечения делать специальные подрезки. Пересечения являются наиболее ответственным местом конструкции; при неправильной заготовке пересечений (неправильном устройстве подрезок или отверстий для свнзей) сборка башни затруднительна и даже невозможна; поэтому места пересечений должны быть строго рассчитаны и тщательно, точно по проценту изготовлены.

По длине одного стержня пересечения располагаются на разных расстояниях, а в случае подрезок имеют разный вид и разную ориентацию друг относительно друга; в то же время они стандартны для всех стержней одного направления. Таких направлений только два — прямое и обратное, следовательно по типу пересечений должно быть два типа стержней. Для каждого яруса подрезки в точках пересечений одного направления отличаются от подрезок второго направления лишь ориентацией, но не размерами. В точках пересечений стержни скрепляются болтами, причем отверстия для болтов в одном из двух скрепляемых стержней лучше просверлить в момент сборки сооружения.

По высоте башни ставятся горизонтальные диафрагмы жесткости, обеспечивающие устойчивость как отдельных элементов ее, так и всего сооружения в целом. Эти диафрагмы, как правило, приходится делать из прямолинейных элементов (можно из кружал). Ввиду того что башня имеет переменное по высоте сечение, диафрагмы отличаются друг от друга как конструкцией, так и размерами. К стержням башни диафрагмы прикрепляются болтами; для облегчения сборки болтовые отверстия могут быть сделаны заранее. Верхняя диафрагма должна кроме того воспринять и передать стержням башни вертикальную нагрузку (например от водонапорного бака).

Элементы верхней диафрагмы, работающей на поперечный изгиб от вертикальных нагрузок, выполняются в виде балок составного сечения, которые лучше всего konstruировать путем простого сплачивания без рабочих соединений или в крайнем случае — на плотных соединениях типа пластинчатых нагелей и т. п. Сопряжение стержней башни с основанием проще всего осуществлять непосредственным упором стержней и заделкой анкеров в бетонный или каменный фундамент; концы стержней покрываются суперобмазкой, а между деревом и бетоном прокладывается толь или рубероид. Фундамент можно осуществлять в виде кольца или отдельных столбов. Кроме передачи давления на грунт фундамент должен обеспечить собственным весом

и весом лежащей на нем земли восприятие растягивающих усилий от анкеров.

Рекомендуется применять креозотированный лес и оцинкованные или покрытые лаком болты; в таком случае даже незащищенная конструкция может без ремонта стоять десятилетиями.

Достоинствами описанной конструкции являются: 1) малый расход материала; 2) надежность в работе, ибо многократная статическая неопределимость обеспечивает взаимную поддержку отдельных элементов<sup>1</sup>; 3) сборность, разборность и приспособленность к заводской заготовке; 4) хороший внешний вид, лучший, чем у прочих решетчатых башен.

Недостатком конструкции являются сложность ее проектирования и изготовления, обязательное требование тщательной заготовки элементов и разбивки фундамента.

### 2. Расчет

Нагрузками на башню являются: 1) собственный вес, 2) вес водонапорного бака и т. п., 3) горизонтальная нагрузка от ветра.

Подсчет ветрового давления может быть произведен по формуле:

$$p_0 = kq,$$

где  $k$  следует принять равным 1,4; величина скоростного напора  $q$  берется из норм.

Поверхность сопротивления ветру может быть принята равной сумме боковых поверхностей всех стержней:

$$F = \Sigma \omega = 2mla, \quad (1)$$

где  $2m$  — число стержней;

$l$  — длина стержня;

$b$  — ширина стержня.

Нагрузка на единицу высоты башни:

$$q_0 = kq \ 2ma. \quad (2)$$

Усилие в стержне складывается из усилий от вертикальной нагрузки, изгибающего момента и поперечной силы.

При симметричном опирании верхней площадки и симметричной вертикальной нагрузке на каждый стержень приходится одинаковое по величине и по знаку усилие:

$$N_p = \frac{P}{2m \cos \beta}, \quad (3)$$

где  $P$  — вертикальная нагрузка;

$2m$  — число стержней;

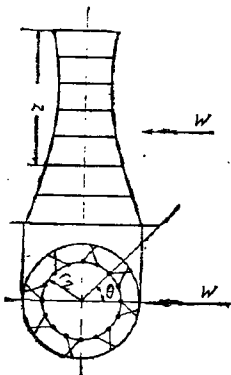
$\beta$  — угол между вертикалью и направлением стержня.

При несимметричном опирании верхней площадки или несимметричной нагрузке усилия в стержнях от вертикальных сил следует определять с учетом влияния этих факторов.

При определении усилий в стержнях от горизонтальной нагрузки и момента предполагается, что поперечное сечение башни после загрузки не меняет своей формы. При наличии жестких

<sup>1</sup> Испытание модели в  $1/10$  н. в. в лаборатории ЦНИПО дало коэффициент запаса всего сооружения в целом  $k = 2,9$ .

диафрагм это допущение вполне уместно и не дает больших отклонений от точного метода расчета. При этом башню в целом можно рассматривать как консоль, защемленную в фундамент.



Фиг. 1

Допустим, что стержни воспринимают лишь осевые усилия. Применяя принцип независимости действия сил, определим усилия в стержнях отдельно от поперечной силы  $Q_z$  и отдельно от момента  $M_z$ .

Тогда усилия в стержне, наклоненном к направлению ветра под углом  $\theta$  (фиг. 1), выразятся следующими величинами.

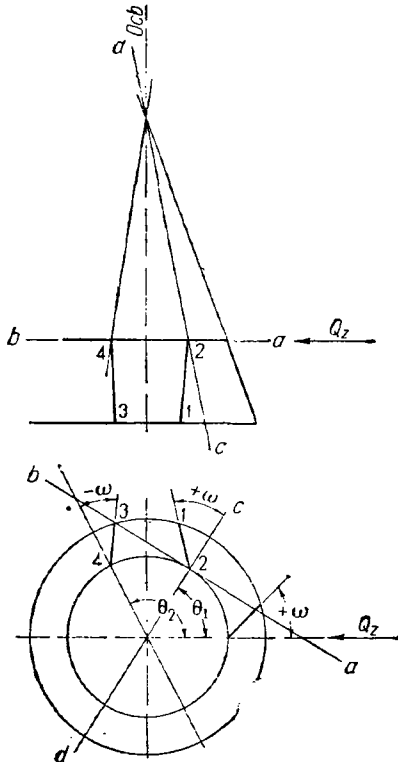
От воздействия поперечной силы  $Q$  в стержнях башни возникают усилия:

$$N_Q = x \sin \theta, \quad (4)$$

где  $x$  — усилие в стержне при  $\theta = 90^\circ$ .

Справедливость этой формулы очевидна из следующих соображений. Проведем плоскость через стержень и касательную к окружности рассматриваемого сечения.

Разложим в этой плоскости усилие  $N_Q$  на две составляющие:  $N_1$  — по касательной  $a-b$  и  $N_2$  — по нормали к касательной  $c-d$  (фиг. 2).

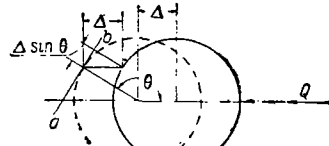


Фиг. 2

Все усилия  $N_2$  пересекаются в одной точке на оси башни вне рассматриваемого сечения и должны дать равнодействующую, равную нулю, так как при загрузке силой  $Q$ , приложенной в плоскости рассматрива-

емого сечения, внешний момент и вертикальная сила отсутствуют, следовательно равнодействующая усилий  $N_2$  должна равняться  $Q$ .

Изменение  $N_1$  по  $\theta$  пропорционально перемещению в направлении касательной  $a-b$  в точке, расположенной под углом  $\theta$  1; это перемещение будет равно  $\Delta \sin \theta$ , где  $\Delta$  — наибольшее перемещение по направлению  $Q$  (фиг. 3).



Фиг. 3

Таким образом:

$$N_1 = x_0 \sin^2 \theta, \quad (5)$$

где  $x_0$  — частное значение  $N_1$  при  $\theta = 90^\circ$ .

Равнодействующая всех сил  $N_1$ :

$$\sum x_0 \sin^2 \theta = Q_z, \quad (6)$$

откуда:

$$x_0 = \frac{Q_z}{\sum \sin^2 \theta} = \frac{Q_z}{m}, \quad (7)$$

это есть проекция усилия  $x$  на касательную; отсюда:

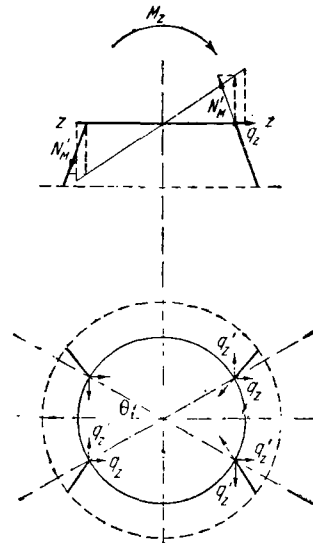
$$x = \frac{Q_z}{m} \cdot \frac{1}{\sin \beta \cdot \sin \omega}. \quad (8)$$

Значение  $\omega$  видно из фиг. 2.

Усилие:

$$N_Q = \frac{Q_z}{m} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \beta \cdot \sin \omega}. \quad (9)$$

От действия изгибающего момента  $M_z$  в каждой точке, расположенной под углом  $\theta$



Фиг. 4

к направлению ветра нормально к поперечному сечению башни, возникает усилие:

$$\frac{M_z}{m r_z} \cos \theta. \quad (10)$$

1 Строгое доказательство этого положения не приводится.

Разложим это усилие на три составляющие (фиг. 4):

$$N'_m = \frac{M_z}{mr_z} \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \beta} \text{ — по направлению стержня,}$$

$q'_z$  — перпендикулярное к направлению ветра в плоскости поперечного сечения башни и на

$q''_z = \left[ \frac{M_z}{mr_z} \cdot \cos \theta \right] \operatorname{tg} \beta \cos (\theta + \omega)$  — параллельное направлению ветра тоже в плоскости поперечного сечения башни.

представляет собою поперечную силу, направленную которой обратно направлению ветра, т. е.:

$$\sum q_z = \frac{M_z}{mr_z} \operatorname{tg} \beta \sum \cos \theta \cos (\theta + \omega) \quad (11)$$

или

$$\sum q_z = \frac{M_z}{r_z} \operatorname{tg} \beta \cos \omega \quad (12)$$

Влияние  $\sum q_z$  на усилие в стержнях башни определим так же, как это было сделано выше для силы  $Q_z$  [см. ф-лу (9)], а именно: усилие в стержне, наклоненном под углом  $\theta$ , будет:

$$\frac{\sum q_z}{m} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \beta \cdot \sin \omega} \quad (13)$$

В результате усилие в стержне от действия только изгибающего момента  $M_z$  будет:

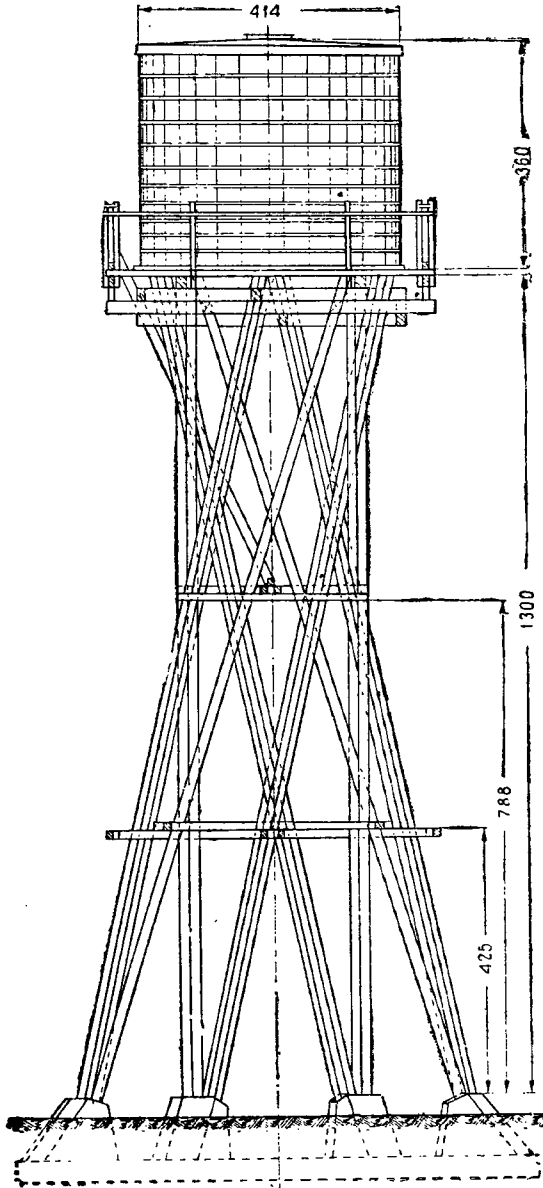
$$N_m = \frac{M_z}{mr_z} \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \beta} + \frac{M_z}{mr_z} \cdot \frac{\sin \theta}{\cos \beta \cdot \operatorname{tg} \omega} \quad (14)$$

Полное усилие в стержне от горизонтальных нагрузок и момента:

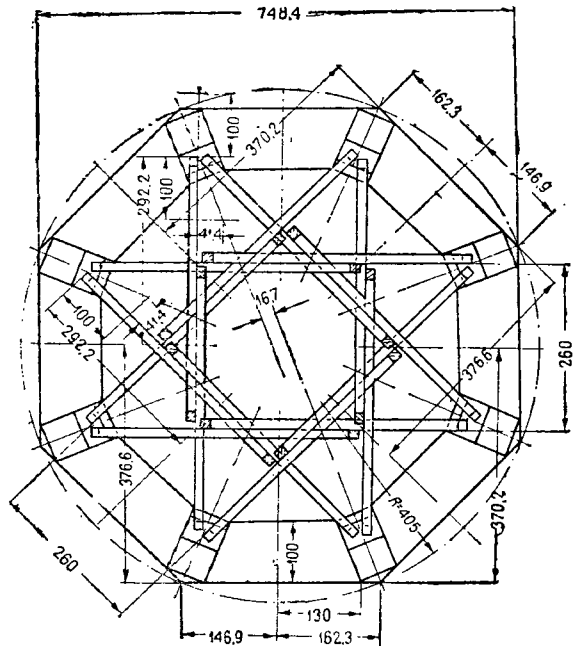
$$N_z = \frac{M_z \cdot \cos \theta}{mr_z \cdot \cos \beta} + \frac{M_z}{mr_z} \cdot \frac{\sin \theta}{\cos \beta \cdot \operatorname{tg} \omega} - \frac{Q_z \cdot \sin \theta}{m \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega}, \quad (15)$$

где  $Q_z$  — равнодействующая горизонтальных сил, расположенных выше сечения  $z$ .

Необходимо учесть, что члены с множителями  $\sin \omega$  и  $\operatorname{tg} \omega$  могут менять знак, так как угол  $\pm \omega$  имеет два знака, соответствующих прямому или обратному направлению стержней.



Фиг. 5. Фасад



Фиг. 6. План расположения стержней и фундамента

Водонапорная деревянная башня (по типу сетчатых металлических башен инж. Шухова В. Г.) высотой  $h = 13,00$  м под бак емкостью  $40 \text{ м}^3$  воды

Равнодействующая усилий  $q'_z$  равна нулю, равнодействующая же усилий  $q''_z$ , равная  $\sum q_z$ ,

В ф-ле (15) знак минус соответствует сжатию, знак плюс — растяжению.



### 3. Пример расчета водонапорной башни высотой 16,7 м

#### Конструкция

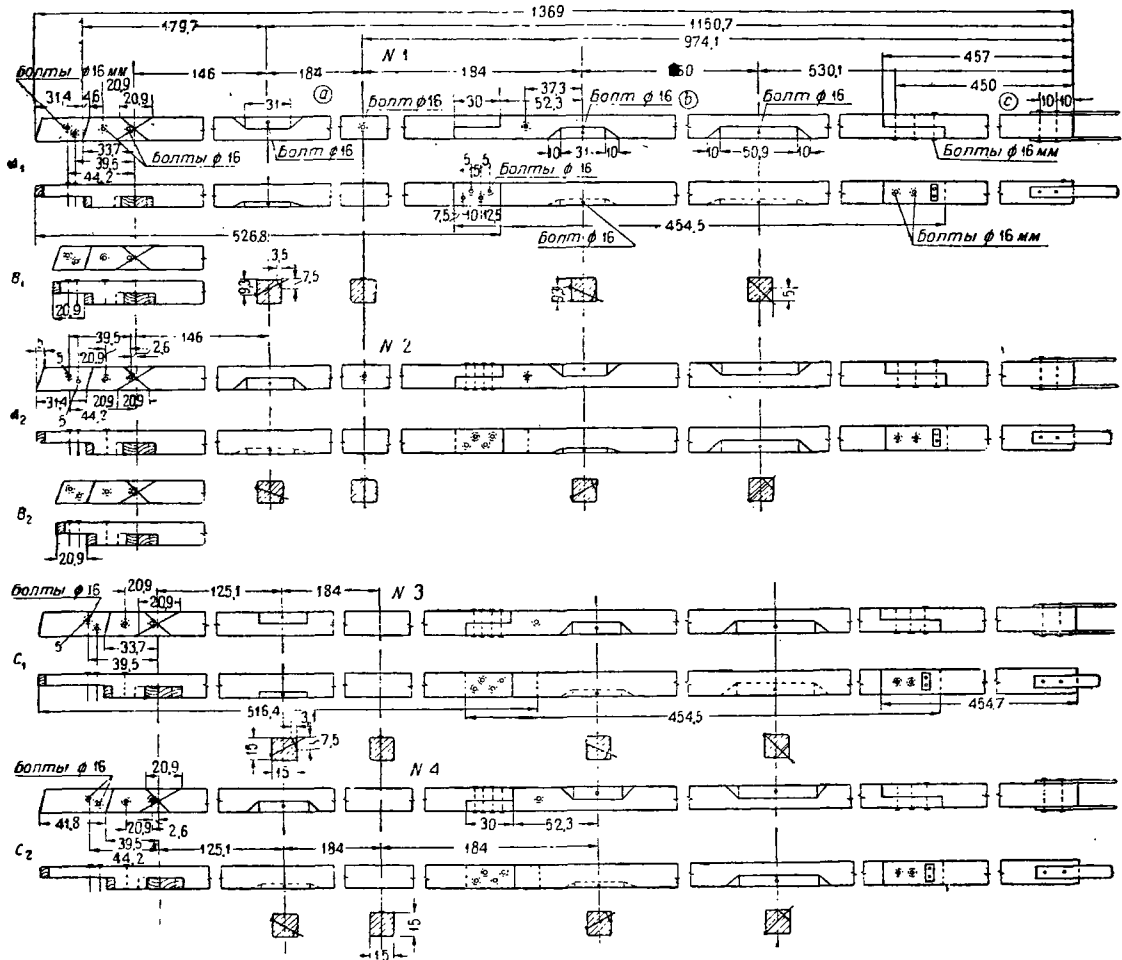
Башня несет бак емкостью 40 м<sup>3</sup>. Напор  $H = 13,27$  м (фиг. 5).

Башня составлена из 16 стержней (фиг. 6 и 7)— 8 прямого и 8 обратного направления, наклоненных под углом  $\beta = 17^\circ$  к вертикали.

Стержни башни длиной 13,7 м и сечением  $15 \times 15$  см в точках пересечения имеют подрезки,

площадку; верхний обрезан по кругу диаметром 3,98 см, т. е. на 2 см меньше диаметра бака. Бак опирается днищем. По высоте башни поставлены две промежуточные диафрагмы. Нижняя диафрагма (фиг. 9) запроектирована из брусков  $12 \times 12$  см в виде двух пересекающихся четырехугольников, скрепленных в точках пересечения болтами, благодаря чему система представляет собою жесткую конструкцию.

Средняя диафрагма (фиг. 10) запроектирована в виде восьмиугольника из досок  $10 \times 25$  см. Неизменяемость системы обеспечивается связями



Фиг. 7. Стержни к фиг. 5

дающие ослабление сечения не более 12,5%, а по длине — возле диафрагм — 2 стыка вполдерева.

Наверху поставлена жесткая диафрагма-площадка (фиг. 8а, 8б, 8в, 8г и 9), запроектированная четырехъярусной из четырех четырехугольников, повернутых один относительно другого на  $45^\circ$  и скрепленных в точках пересечения болтами.

Элементы диафрагмы имеют сечение  $20 \times 17$  см. Сверху на диафрагму уложен разреженный перекрестный (угол  $90^\circ$ ) настил из брусков  $10 \times 10$  см; нижний слой настила образует прямоугольную

в виде четырехугольника и элементами  $AB$  и  $CD$  (фиг. 11) мостика для лестницы, которая выше средней диафрагмы расположена снаружи башни.

Размеры элементов обеих промежуточных диафрагм назначены из конструктивных соображений. Для отдельных элементов допускалась гибкость  $\lambda \leq 90$ .

Фундамент башни (фиг. 12) запроектирован в виде восьми отдельных колонных столбов, связанных между собой, поперечным железобетонным фундаментом. На столбы попарно опираются стержнем башни, заанкеренные в бетон при помощи полосового железа. Лен-

точный фундамент вообще не обязателен, но в данном случае оказался необходимым из-за условий грунта, допускающего давление не свыше  $0,4 \text{ кг/см}^2$ .  
 Геометрические данные (фиг. 13).  
 Диаметры гиперболоида:  $D_k = 6,27 \text{ м}$ ;  $D_o = 3,44 \text{ м}$ .

Расстояния пересечений вдоль образующей от фундамента:

$$s_1 = \frac{1550}{\cos 73^\circ} = 5301 \text{ мм};$$

$$s_2 = 7907 \text{ мм};$$

$$s_3 = 9760 \text{ »}$$

$$s_4 = 11590 \text{ »}$$

$$\operatorname{tg} \omega = 1;$$

$$\sin \omega = 0,707.$$

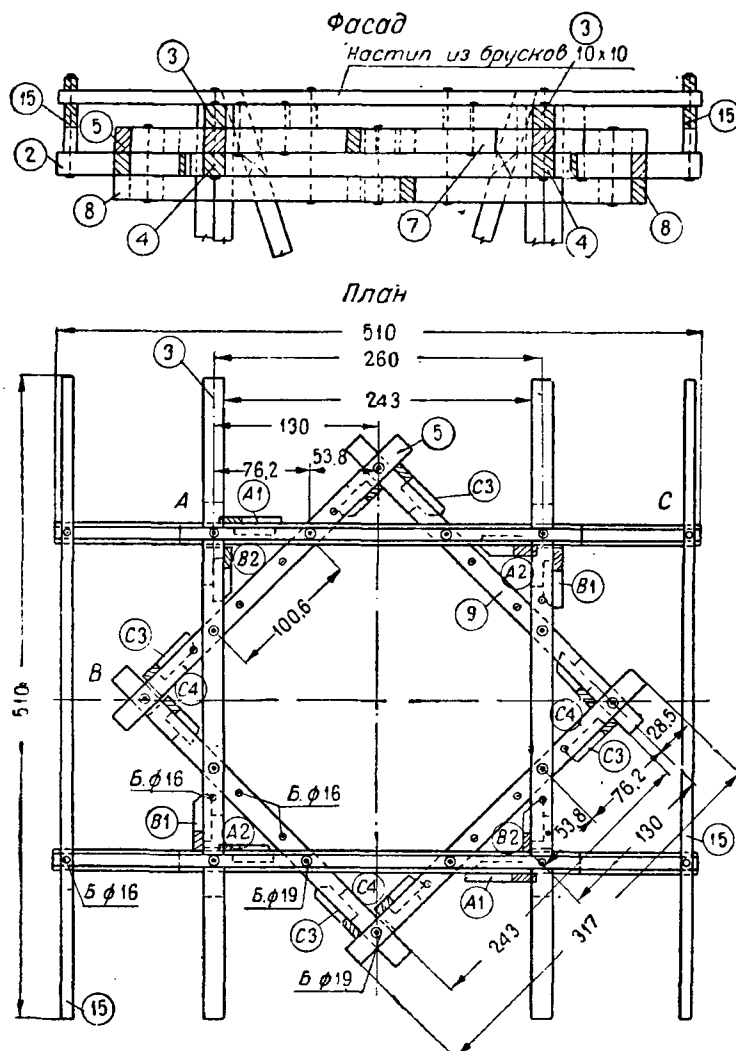
Вертикальные нагрузки:

|                            |          |
|----------------------------|----------|
| Собственный вес бака . . . | 3 000 кг |
| Вес верхней площадки . . . | 900 »    |
| » диафрагмы . . . . .      | 1 400 »  |
| » башни . . . . .          | 3 200 »  |

Итого 8 500 кг

Вес воды . . . . . 40 000 »

Всего 48 500 кг



Фиг. 8а. Верхняя диафрагма (к Фиг. 5)

Основные углы:

$$\beta = 17^\circ;$$

$$\cos \beta = 0,957;$$

$$\sin \beta = 0,2924;$$

$$\omega = 45^\circ;$$

Ветровые нагрузки. Ветровое давление по Единым нормам для 2-го района  $q = 70 \text{ кг/м}^2$ .

а) Давление на бак:

$$W_1 = 0,6 \cdot 70 \cdot 4,14 \cdot 3,6 = 625 \text{ кг};$$

б) на верхнюю диафрагму-площадку:

$$W_2 = 1,4 \cdot 70 \cdot 0,9 \cdot 5,1 = 440 \text{ кг};$$

в) Давление на башню:

$$W_3 = 1,4 \cdot 70(0,15 \cdot 13,0) \cdot 16 = 3\,000 \text{ кг.}$$

Проверка устойчивости башни:

Вес фундамента . . . . . 23 000 кг  
 « сооружения . . . . . 8 500 »

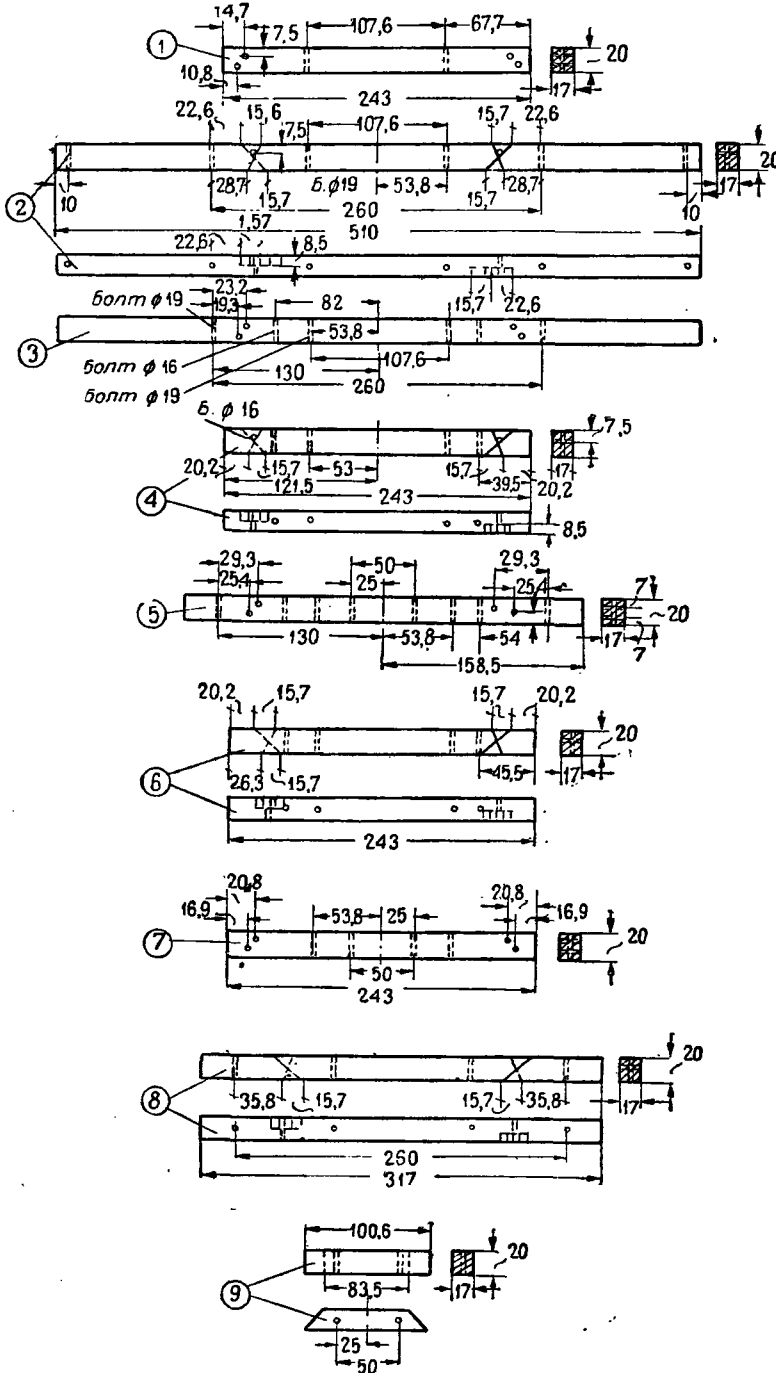
Итого 31 500 кг

Опрокидывающий момент (фиг. 14):

$$M_0 = 625 \cdot 16,1 + 440 \cdot 13,85 + 3\,000 \cdot 7,21 = 37\,700 \text{ кгм.}$$

Момент устойчивости (без учета веса земли на фундаменте):

$$M_y = 31\,500 \cdot 3,742 = 118\,000 \text{ кгм.}$$



Фиг. 86. Детали верхней диафрагмы (к Фиг. 8а)

Коэффициент устойчивости:

$$\varphi = \frac{118\,000}{37\,760} = 3,1.$$

Расчет верхней опорной диафрагмы площадки. Диафрагма состоит из четырех четырехугольников (в четыре яруса), повернутых относительно друг друга на 45° (фиг. 8).

Можно принять, что нагрузка от бака передается равномерно по контуру *ABCDEFKL* (фиг. 15).

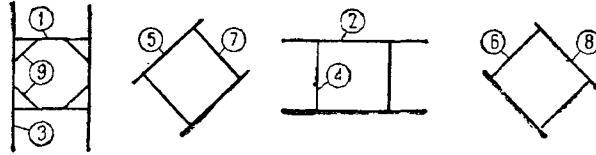
Расчетные пролеты элементов:  $l_1 = 217$  см;  $l_2 = 205$  см;  $l_3 = 193$  см;  $l_4 = 181$  см.

Усилия в долях  $Q$ :  $x_1 = 0,512Q$ ;  $x_2 = 0,461Q$ ;  $x_3 = 0,406Q$ ;  $x_4 = 0,567Q$ ;

$$Q = \frac{3\,000 + 900 + 40\,000}{8} = 5\,500 \text{ кг,}$$

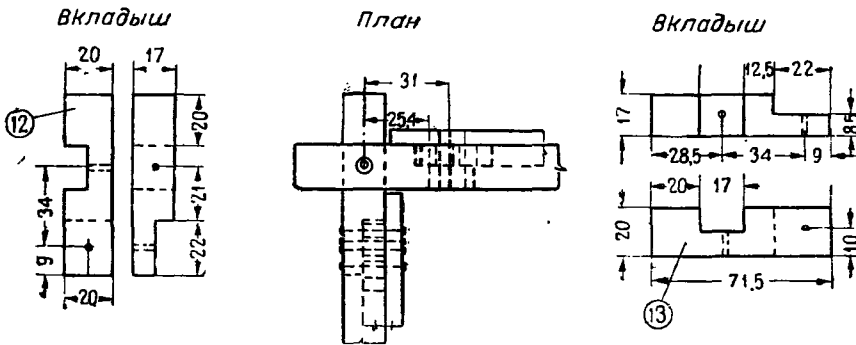
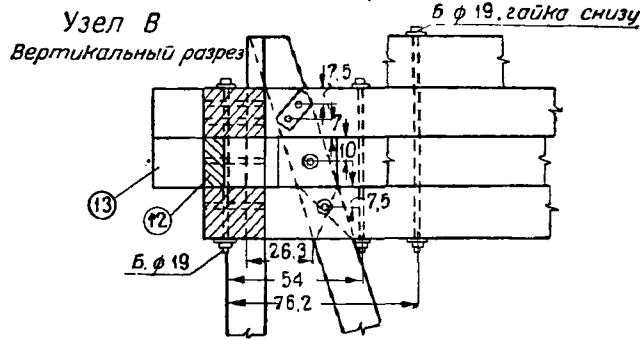
откуда:

$$x_1 = 2\,820 \text{ кг; } x_2 = 2\,540 \text{ кг; } x_3 = 2\,230 \text{ кг; } x_4 = 3\,120 \text{ кг.}$$



1-й ярус верхний 2-й ярус 3-й ярус 4-й ярус

Фиг. 8в. Схема расположения элементов верхней диафрагмы по ярусам (и фиг. 8а)



Фиг. 8г (и фиг. 8а)

Вследствие симметрии системы и нагрузки соответственные элементы каждого четырехугольника работают одинаково. Расчетные же пролеты отдельных элементов, работающих на изгиб, вследствие уклона стержней у разных четырехугольников различны. Исходя из этого, достаточно рассмотреть работу четырех совместно работающих балок (фиг. 16) (по одному элементу из каждого четырехугольника).

Приравнивая между собою прогибы в точках пересечения балок, получим систему двучленных уравнений, из которых нетрудно определить значения неизвестных сил  $x_1, x_2, x_3$  и  $x_4$ .

Опорные реакции:  $R_1' = -70$  кг;  $R_2' = +210$  кг;  $R_3' = +2\,230$  кг;  $R_4' = 3\,120$  кг.

Вес диафрагмы дает дополнительную нагрузку:

$$P_0 = \frac{1\,400}{8.4} = 44 \text{ кг}$$

Полное значение опорных реакций:

$$R_1 = -70 + 44 = -26 \text{ кг}$$

$$R_2 = 210 + 44 = 254 \text{ »}$$

$$R_3 = 2\,230 + 44 = 2\,274 \text{ »}$$

$$R_4 = 3\,120 + 44 = 3\,164 \text{ »}$$

Проверка напряжений в элементе диафрагмы (фиг. 17). Расчетный изгибающий момент:

$$M = 3 \cdot 120 \cdot \frac{181 - 107,6}{2} = 114 \, 000 \text{ кгсм};$$

момент сопротивления:

$$W = 1 \, 000 \text{ см}^2;$$

площадь сечения:

$$F = 300 \text{ см}^2;$$

$$n = \frac{114 \, 000}{1 \, 000} + \frac{3 \cdot 164 + 17}{300} = 114 + 3 = 117 \text{ кг/см}^2.$$

Перенапряжение:

$$\frac{117 - 110}{110} \cdot 100 = 6,5\%.$$

$$\frac{Q}{m} = \frac{2 \, 565}{8} = 320 \text{ кг};$$

$$N_x = + \frac{82}{0,957} \cdot \cos \theta + \left[ \frac{82}{0,957} - \frac{320}{0,2924 \cdot 0,707} \right] \sin \theta;$$

полагая  $\theta = \pm 90^\circ$ , получим:

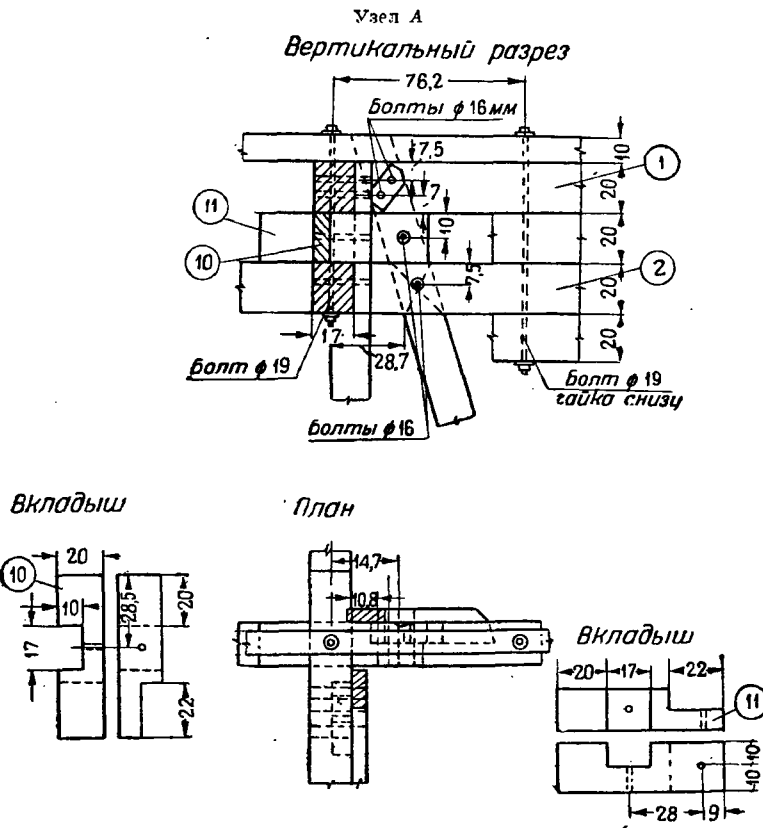
$$N_x = \pm \left[ \frac{82}{0,957} - \frac{320}{0,2924 \cdot 0,707} \right] = \pm 1 \, 465 \text{ кг}.$$

Свободная длина стержня от фундамента до первой диафрагмы

$$L = 450 \text{ см}.$$

Радиус инерции:

$$r = 4,34 \text{ см};$$



Фиг. 8д (к Фиг. 8а)

Расчет стержней. Принимаем, что усилие от ветра в каждом отдельном стержне по всей длине его постоянно; этим самым выключаем из работы промежуточные диафрагмы.

Давление ветра на башню распределим пополам между верхней диафрагмой и фундаментом.

Таким образом в сечении верхней диафрагмы действуют усилия:

$$M_x = 625 \cdot \frac{3,6}{2} = 1 \, 125 \text{ кгсм};$$

$$Q_x = 625 + 440 + \frac{3 \, 000}{2} = 2 \, 565 \text{ кг};$$

$$\frac{M_x}{m r_x} = \frac{1 \, 125}{8 \cdot 1,72} = 82 \text{ кг};$$

$$\lambda = \frac{450}{4,34} = 104;$$

$$\varphi = 0,256; [n] = 25,6 \text{ кг/см}^2;$$

$$F_{\text{бушты}} = 225 \text{ см}^2.$$

Расчетное усилие:

$$N = \frac{R_3 + R_4}{\cos \beta} + \frac{3 \, 200}{2m \cos \beta} + 1 \, 465 = \frac{254 + 3 \, 164}{0,957} + \frac{3 \, 200}{16,0 \cdot 0,957} + 1 \, 465 = 5 \, 270 \text{ кг};$$

$$n = \frac{5 \, 270}{225} = 23,5 < 25,6 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет стержней при отсутствии воды в баке:

$$x_1 = 0,512 \cdot \frac{3900}{2} = 250 \text{ кг};$$

$$R'_1 = 12 + 44 = + 32 \text{ кг};$$

$$x_2 = 0,406 \cdot \frac{3900}{8} = 198 \text{ кг};$$

$$R'_2 = 198 + 44 = + 242 \text{ кг}.$$

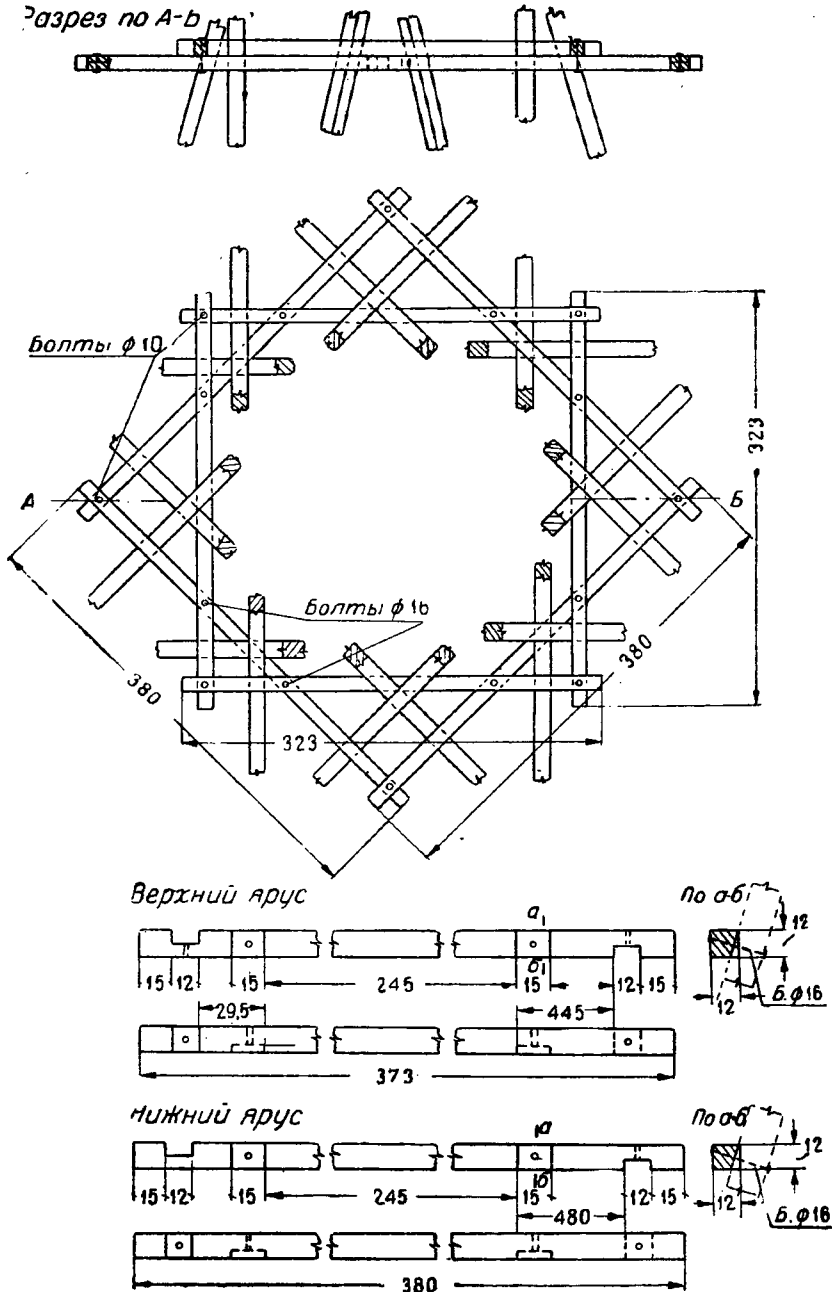
Расчет прикрепления к фундаменту (фиг. 12)

Усилие:

$$N = \left[ 1465 - \frac{32 + 242}{0,957} \right] - \frac{3200}{16 \cdot 0,957} = 1180 - 210 = 970 \text{ кг}.$$

Поставлено два двухрезных болта  $\varnothing 16$  мм:

$$[T_n] = 428 \text{ кг}.$$



Фиг. 9. Нижняя диафрагма (к фиг. 5)

Усилие на один срез нагеля:

$$T'_n = \frac{970}{4} = 242 < 428.$$

Расчет первого стыка

Усилие:

$$N = 1180 - \frac{2}{3} \cdot 210 = 1040 \text{ кг.}$$

Поставлено 4 односрезных болта  $\varnothing 16$  мм.

Усилие на один срез:

$$T_n = \frac{1040}{4} = 260 < 428 \text{ кг.}$$

Расчет второго стыка

Усилие:

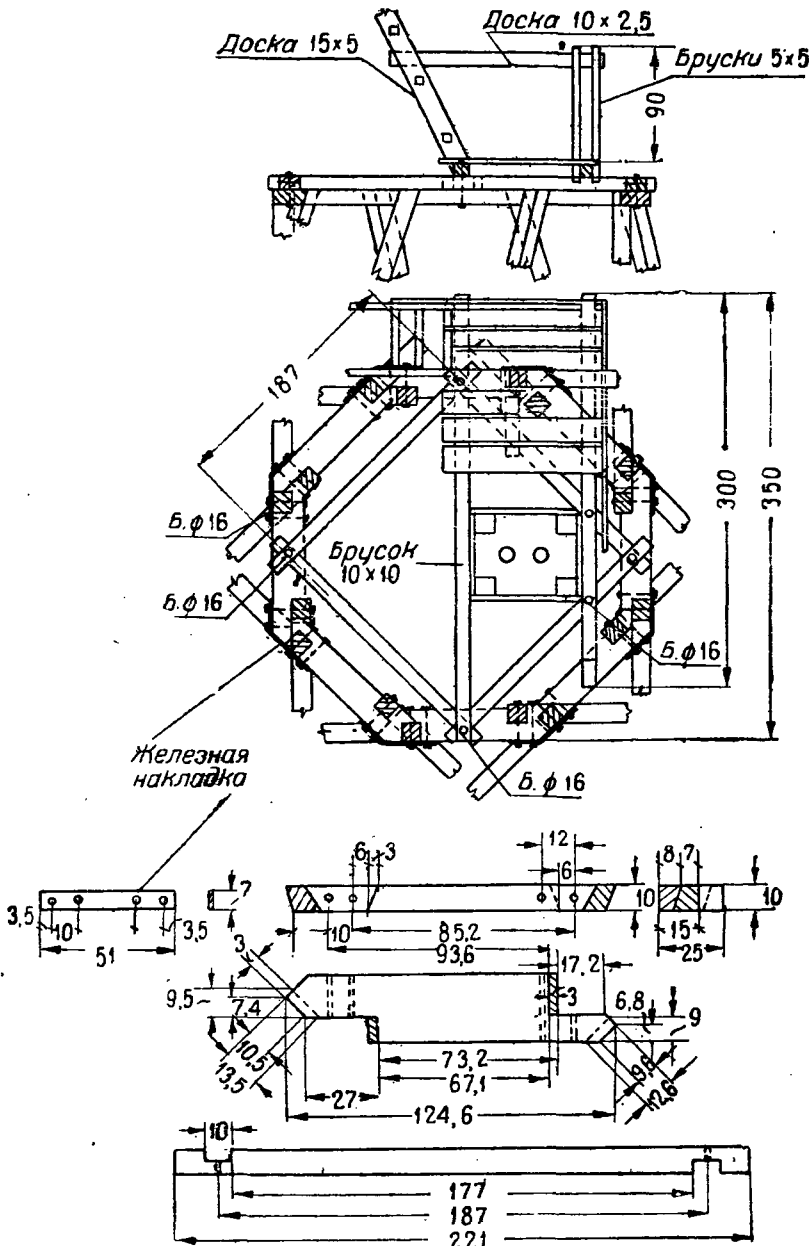
$$N = 1180 - \frac{210}{3} = 1110 \text{ кг.}$$

Поставлено 4 односрезных болта  $\varnothing 16$  мм.

Усилие на нагель;

$$T_n = \frac{1110}{4} = 278 < 428 \text{ кг.}$$

Расчет сопряжения верхней диафрагмы со стержнями. Сопряжение запроектировано для нижнего бруса в виде крестовой врубки, для верхнего — простым упором в торец стержня (фиг. 17).



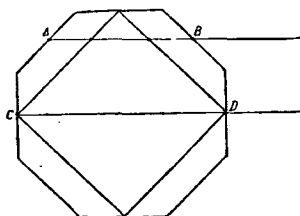
Фиг. 10. Средняя диафрагма (к Фиг. 5)

Наибольшее усилие от вертикальной нагрузки:

$$R_t = 3\,164 \text{ кг.}$$

Усилие в стержне от ветра:

$$N = 1\,465 \text{ кг.}$$



Фиг. 11. Схема средней диафрагмы (к фиг. 5)

Предполагается, что это усилие распределяется поровну между верхними брусьями А и нижними В. Таким образом усилие на врубку:

$$p = \frac{1\,465}{2} = 733 \text{ кг.}$$

В нижнем бруске это усилие разлагается на две площадки  $a-b$  и  $b-c$ .

Усилие на площадку  $a-b$ :

$$p_1 = 0,72 \cdot 3\,164 + 0,89 \cdot 733 = 2\,932 \text{ кг.}$$

Коэффициенты 0,72 и 0,89 учитывают разложение усилий по направлениям, перпендикулярным  $a-b$  и  $b-c$ :

$$F_{ab} = 92 \text{ см}^2;$$

$$n_c = \frac{2\,932}{92} = 32,2 < 35,5 \text{ кг/см}^2.$$

Усилие на площадку  $b-c$ :

$$p_2 = 0,95 \cdot 3\,164 + 0,77 \cdot 733 = 3\,565 \text{ кг;}$$

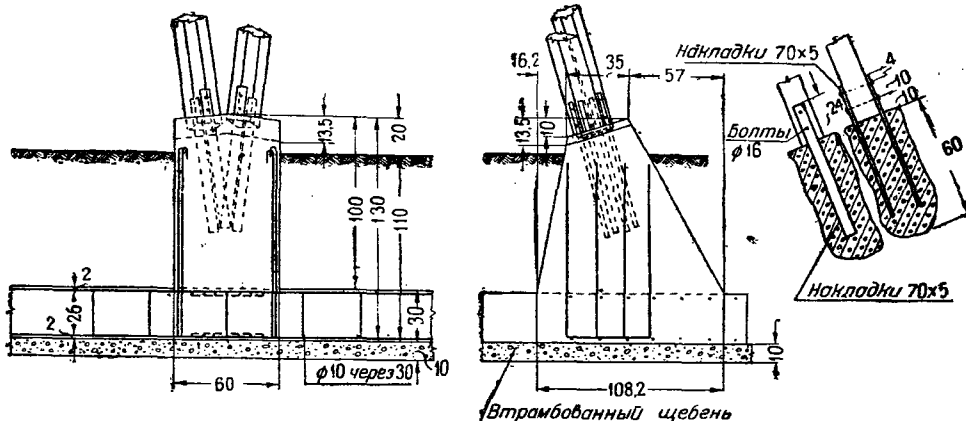
$$F_{b-c} = 125 \text{ см}^2;$$

$$n_t = \frac{3\,565}{125} = 28,5 < 30 \text{ кг/см}^2.$$

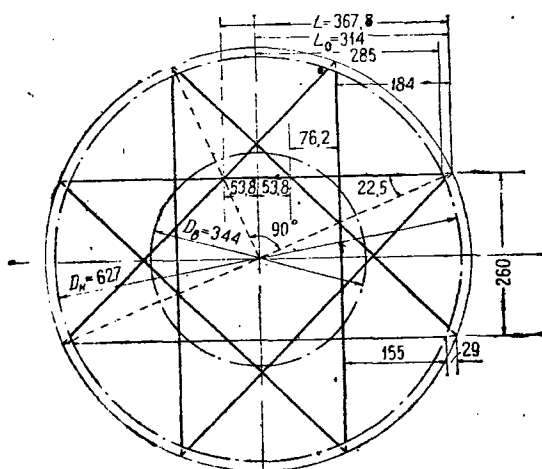
Проверка на скалывание конца:

$$F_t = 543 \text{ см}^2;$$

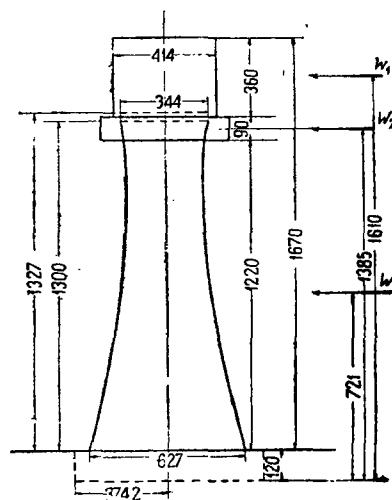
$$i = \frac{2\,932}{543} = 5,4 < 10 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 12. Фундамент (к фиг. 5)



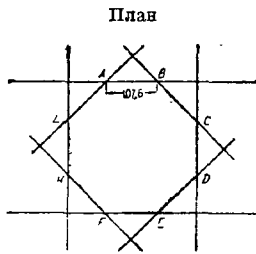
Фиг. 13. План расположения стержней (к фиг. 5)



Фиг. 14. Схема нагрузки (к фиг. 5)



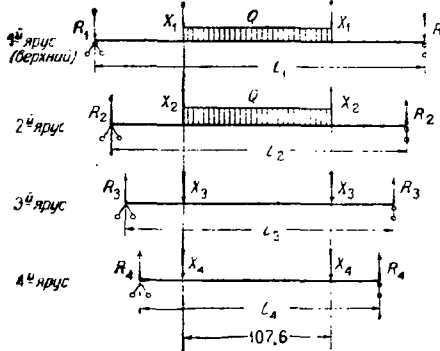
Проверка напряжения в сопряжении стержня с верхним брусом



Фиг. 15. Схема верхней диафрагмы (к фиг. 8а)

Усилие:

$$254 + 733 \cdot 0,957 = 955 \text{ кг};$$



Фиг. 16. Схема нагрузок на верхнюю диафрагму

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Петров Д. М., Железные водопроводные башни, их назначения, конструкции и расчеты, 1911 г.
2. Проф. Гениев Н. Н., Водоснабжение железнодорожных станций, ОГИЗ, Гострансиздат, 1932 г.
3. Подольский И. С. Пространственные фермы, Государственное издательство, 1931 г.
4. Писчиков В. Г., Фермы, Справочник Промстройпроекта, т. II.

$$F_{cm} = 133 \text{ см}^2;$$

$$n_c = \frac{955}{133} = 7,2 < 20 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет болтов. Усилие на болты при отсутствии воды в баке:

$$N = 733 - 32 = 701 \text{ кг};$$

$$[n_c]_{н} = 47 \text{ кг/см}^2;$$

болт:

$$d = 19 \text{ мм};$$

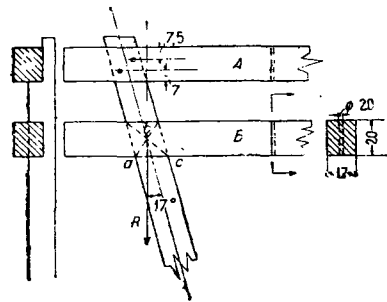
$$T_n = 0,5 \cdot 1,6^2 \sqrt{1400 \cdot 47} = 330 \text{ кг}.$$

Усилие на болт:

$$\frac{701}{2} = 350 > 330 \text{ кг}.$$

Перенапряжение:

$$\frac{350 - 330}{330} \cdot 100 = 6\%.$$



Фиг. 17. Сопряжение стержня с диафрагмой (к фиг. 5)

5. Гришнова Н. П., Лысков В. П. и Пеньков А. М., Расчет башен системы Шухова на прочность и устойчивость, «Вестник инженеров и техников» № 7, 1933 г.
6. Лысков В. П., Устойчивость цилиндрических сетчатых оболочек, Военно-инженерная академия и Гиростальмост, Металлические конструкции, сборник статей, Госстройиздат, 1934 г.

Доц. Г. А. ЦВИНГМАН

**VI. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МОКРЫЕ СИЛОСНЫЕ БАШНИ**

**1. Общие сведения**

Мокрые силосные башни представляют собою сооружения правильной призматической или цилиндрической формы, диаметром от 3,0 до 7,5 м и высотой от 5,0 до 12,0 м, служащие хранилищем для силоса<sup>1</sup>.

Хранение корма в силосных башнях имеет следующие преимущества:

- 1) потеря кормом питательных веществ, при хранении в ямах доходящая обычно до 30—35%, в силосных башнях не превышает 10%;

2) возможна полная механизация подачи силосного корма скоту, поскольку башни располагаются непосредственно у скотного двора (фиг. 1).

Деревянные силосные башни впервые появились в Америке в конце прошлого столетия и сразу же получили там широкое распространение. В настоящее время в Америке эксплуатируется несколько сот тысяч таких башен разных емкостей и конструкций. Создание в СССР совхозных и колхозных товарных ферм и широкое развитие животноводства требуют правильной организации кормовой базы, немислимой без развернутого строительства силосных сооружений.

<sup>1</sup> «Силан» — корм для скота.

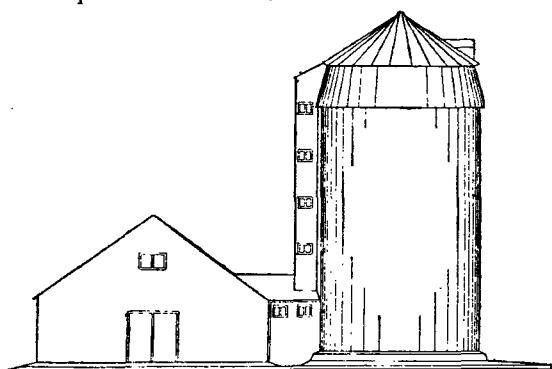
В СССР строительство деревянных силосных башен по американским образцам началось в 1930 г. Применение американских конструкций в наших условиях сразу же выявило много недостатков их.

После долгих опытов исследования различных типов башен как американских, так и разработанных в СССР удалось создать удовлетворительные формы, пригодные для массового строительства.

## 2. Классификация

Деревянные силосные башни могут быть разбиты на следующие группы.

По емкости: 1) малой емкости в 50, 80 и 100 м<sup>3</sup>; 2) средней емкости в 150, 200 и 250 м<sup>3</sup> и 3) большой емкости в 300, 350 и 400—450 м<sup>3</sup>. Опыт последних лет показал, что деревянные силосные башни имеют наивысшие технико-экономические характеристики при средних и особенно при больших емкостях.



Фиг. 1. Расположение башни у скотного двора

При емкости в 300 м<sup>3</sup> башни имеют диаметр около 6,0 м и высоту 9,70 м; при емкости в 450 м<sup>3</sup> — диаметр около 7,2 м и высоту около 10,7 м. Деревянные силосы малой емкости (диаметр менее 3,0 м и высота от 5,0 м) встречаются редко и не стандартизированы.

По типу конструкции силосные башни могут быть: 1) клепочно-обручные, 2) гнuto-настильные со стойками, 3) рубленые — многогранные.

В настоящее время на основании опытных исследований признаются наиболее рациональными: для средней емкости — клепочно-обручные башни; для большой емкости — гнuto-настильные со стойками. Рубленые многогранные силосные башни ввиду значительной трудоемкости их в работе и большого расхода лесоматериалов наименее практичны.

По очертанию в плане различают силосные башни:

- 1) четырехугольные;
- 2) многоугольные;
- 3) круглые.

Четырехугольные башни являются одними из наиболее старых типов и в настоящее время совсем не применяются. Многоугольные (рубленые) башни применяются лишь в лесистых местностях СССР. Круглые башни являются основной стандартной конструкцией для массового заводского изготовления и освоены в наибольшем масштабе как в СССР, так и за границей.

## 3. Конструкция

Силосная башня состоит из трех основных частей:

1) нижней (подземной) — в виде ямы глубиной до 2 м с подиорными стенами, являющимися одновременно и фундаментами башни;

2) средней (надземной) — конструкции самой силосной башни;

3) верхней — кровли-шатра для защиты сооружения от атмосферных осадков.

В целях облегчения эксплуатации силосных башен — удобства их загрузки и разгрузки — по всей высоте башни устраиваются специальные отверстия-люки, располагаемые обычно один под другим. В местностях с суровым климатом люковая рама ограждается снаружи специальной пристройкой в виде шахты с окнами, лестницей, площадками и тамбуром внизу. В южных местностях люковая рама обычно не защищается шахтной пристройкой, остается открытой и имеет только лесенку для подъема и спуска.

Конструкция основания и дна силосных башен может быть различна. Необходимо различать силосные башни: 1) на кирпичном, бутовом или бетонном основании с дном из тех же материалов; такие конструкции являются наиболее капитальными, но вместе с тем и наиболее дорогими; 2) на деревянных стульях с бетонным дном и 3) на ростверновом основании с глиняным дном.

Кровельное покрытие силосных башен представляет собою обычно шатер простой конической формы или в виде нескольких ярусов усеченных конусов. Каркас шатра обычно конструируется из досок, брусьев или пластин и несет тесовую, глиняную или этернитовую кровлю.

Устойчивость силосных башен может быть обеспечена: 1) только заанкериванием башни в основании и 2) заанкериванием дополнительной расчалкой вантами.

Вантовые крепления применяются для башен легкого типа из досок в районах с сильными ветрами.

Наиболее ответственной частью силосной башни являются ее стены.

Стены по возможности не должны пропускать 1) воздуха, нарушающего правильный ход молочнокислого брожения и способствующего появлению плесени; 2) воды (изнутри); 3) тепла, значительные потери которого угрожают промерзанием силоса в зимнее время. Внутренняя по верхность стен должна быть гладкой и вертикальной для того, чтобы силос хорошо оседал без образования пустот.

В южных районах, не имеющих местного лесоматериала, деревянные силосные башни возводятся в виде легких дощатых конструкций, заготавливаемых на специальных заводах и привозимых комплектами. Они обычно не утепляются на зиму, поскольку конструктивно минимальная толщина обшивки или клепки уже обеспечивает нормальный тепловой режим. В средней полосе такие конструкции на зиму утепляются или же сразу возводятся с теплоизоляционными стенками. В районах с суровым климатом и в северной части СССР, изобилующих лесоматериалом, при значительной дороговизне и дефицитности металл наиболее рациональны деревянные рубленые силосные башни многогранной формы. Амортизационный срок эксплуатации деревянных силосных

Сашен в среднем принимается около 10 лет. Для увеличения срока службы не может быть применено креозотирование или антисептирование фтористым натрием; поэтому особенно большое значение имеет применение дерева, стерилизованного камерной сушкой.

#### 4. Расчет

Деревянные силосные башни относятся к IV классу сооружений и при массовом заводском изготовлении осуществляются из древесины 1-й (и частично 2-й) марки. Для воздушно-сухой сосны принимаются следующие основные допускаемые напряжения:

$$[n_{\perp}] = [n_{\parallel}] = [n_{\text{с}}] = 120 \text{ кг/см}^2,$$

на смятие торца:

$$[n_{\text{с}}] \approx 100 \text{ кг/см}^2.$$

В расчет необходимо вводить поправку к допускаемым напряжениям на влажность древесины и на степень защищенности рассчитываемого элемента.

В расчете должны быть учтены следующие нагрузки:

- 1) собственный вес и вес шатра;
- 2) давление и подсос ветра;
- 3) давление силосной массы;
- 4) усилия от разбухания дерева.

Ветер учитывается по Единым нормам. Опрокидывающее давление ветра обычно учитывается общим коэффициентом  $k_{\sigma} = 0,60 - 0,70$ .

При определении устойчивости пустой, не загруженной силосом башни горизонтальное давление силоса на стенки деревянного силоса за неимением более точных наблюдений принимается по американским данным (проф. Кинга) в пределах высоты:

$$P_0 = 178h_0 \text{ кг/м}^2,$$

где  $h_0$  — глубина от верха силосной массы в башне до рассматриваемого сечения (в м) и величина 178 — эмпирический коэффициент.

Напряжение в дереве от разбухания поперек волокон по мере увеличения влажности принимается равным: для нормальных клепочных башен  $n_{\perp \text{ разб}} = 4 \text{ кг/см}^2$  и для тонкостенных башен  $n_{\perp \text{ разб}} = 2 \text{ кг/см}^2$ , причем учитывается сечение лишь действительно смачиваемого слоя.

Распирающие тангенциальные усилия, вызывающие растяжения в обручах-бандажах, определяются как суммарные от давления силосной массы и набухания дерева и могут быть определены по формуле:

$$N = 178hr + [n_{\perp}]_{\text{разб}} c \cdot h_1, \quad (1)$$

где  $h$  — глубина от верха силосной массы в башне до рассматриваемого сечения (в м);

$r$  — радиус внутреннего круга цилиндрического сечения башни;

$c$  — толщина смачиваемой клепки в см;

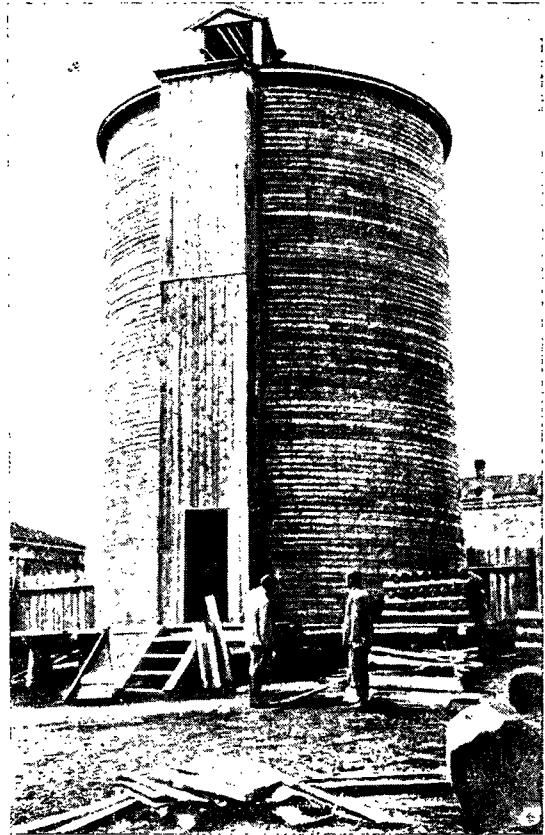
$[n_{\perp}]_{\text{разб}}$  — предельное напряжение при разбухании дерева поперек волокон ( $4 \text{ кг/см}^2$ );

$h_1$  — ширина (высота) полосы рассматриваемого сечения (обычно  $h_1 = 1 \text{ м}$ ).

Общее растягивающее хомуты усилие по всей высоте башни таким образом складывается из давления силосной массы, распределяющегося по закону треугольника, и из распора от набухания клепки, равномерно распределенного по всей высоте силосной башни.

Растягивающие усилия поглощаются грубой обшивкой или металлическими бандажами-обручами, распределенными по высоте соответственно суммарной высоте. При проверке силосных башен на устойчивость учитываются собственный вес порожней башни и крепление ее к фундаменту анкерами. От перекоса башню удерживает сопротивление конструкции сдвигу.

Если коэффициент устойчивости без учета анкеров менее или равен 1,25, обязательна постановка анкеров, которые должны прочно прикрепить башню к фундаментному массиву, включая его вес в работу башни на устойчивость.



Фиг. 2. Деревянная силосная башня висконсинского типа

При подсчете собственного веса башни объемный вес дерева стенок башни принимается  $\gamma = 0,6 \text{ т/м}^3$ .

#### 5. Грунто-настильные башни со стойками

Грунто-настильные силосные башни являются одним из наиболее старых типов таких сооружений. Несмотря на это, и по настоящее время они широко применяются в сельскохозяйственном строительстве и в СССР приняты как стандарт (фиг. 2 и 3). Башни этой конструкции впервые были осуществлены в штате Висконсин в Америке в конце прошлого столетия; в СССР они поэтому известны также под названием «висконсинских» башен.

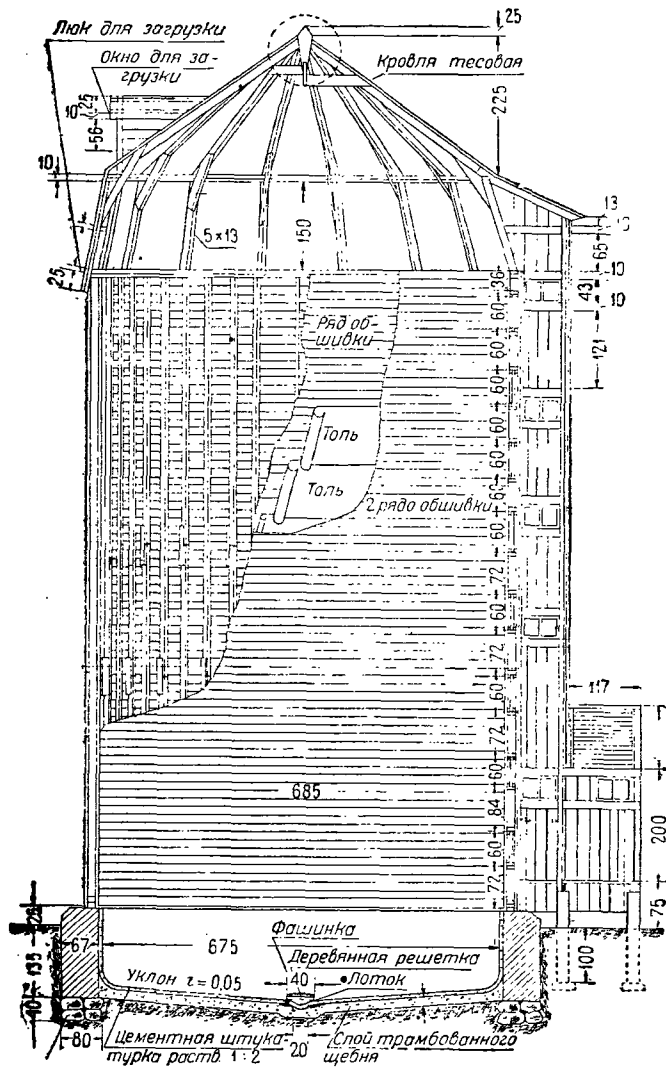
Достоинствами этой конструкции являются:

- 1) малый расход лесоматериалов на основные

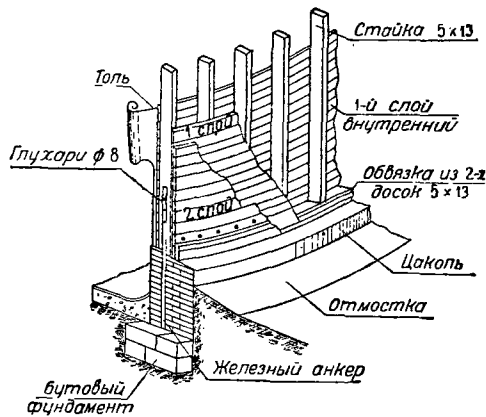
конструкции башни; 2) малый вес металлических креплений, не превышающий 3—5% от веса башни; 3) стандартность сортамента основных элементов стоек и настилов и несложность их заготовки; 4) простота производства сборочных работ; 5) значительная жесткость и устойчивость всей башни; 6) несложность в эксплуатации. Основными недостатками этих башен, ограничивающими их распространение, являются: 1) при-

ных расстояниях в 39 см одна от другой. Стойки обшиваются двумя-четырьмя слоями досок толщиной 1,1—1,2 см и шириной 12 см, огибающими стойки горизонтальными рядами (с малым наклоном) в виде правильной спиральной обшивки (фиг. 4). При четырехслойной обшивке два слоя нашиваются изнутри стоек и два — снаружи. Стыки досок обязательно должны быть расположены вразбежку, что легко может быть достигнуто смещением обшивки каждого второго слоя обшивки на пол доски.

Стойки несут полезную нагрузку и собственный вес кровли и передают фундаменту вес всего деревянного цилиндра башни. По высоте стойки наращиваются впритык с накладками на гвоздях, причем стыки соседних стоек располагаются вразбежку. Обшивка стен является основной рабочей частью всей конструкции, воспринимающей давление силоса и все растягивающие усилия по окружности сечения. В северных районах пространство между обоими слоями внутренней и наружной парных обшивок заполняется утеплителем. Все четыре слоя стенок можно считать участвующими в восприятии растягивающих усилий, однако более напряженными оказываются внутренние слои обшивки. В целях экономии лесоматериала иногда ограничиваются тремя слоями обшивки — наружная обшивка делается в один слой. В этом случае растягивающие по контуру усилия полностью должны быть восприняты двойной внутренней обшивкой. В южных местностях, не требующих утепления стен, гнuto-настильные башни конструируются с открытыми стойками и только внутренней двуслойной обшивкой. Обшивка



Фиг. 3. Башня висковспинского типа по проекту 1932 г.

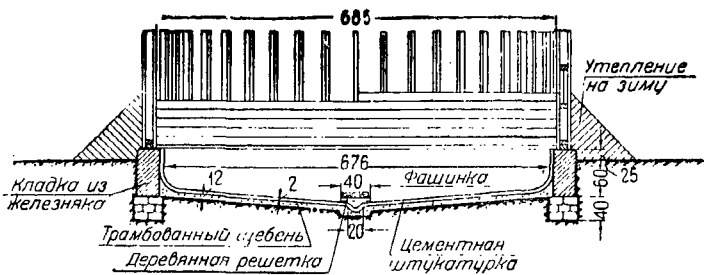


Фиг. 4. Крепление анкером к венцу башни

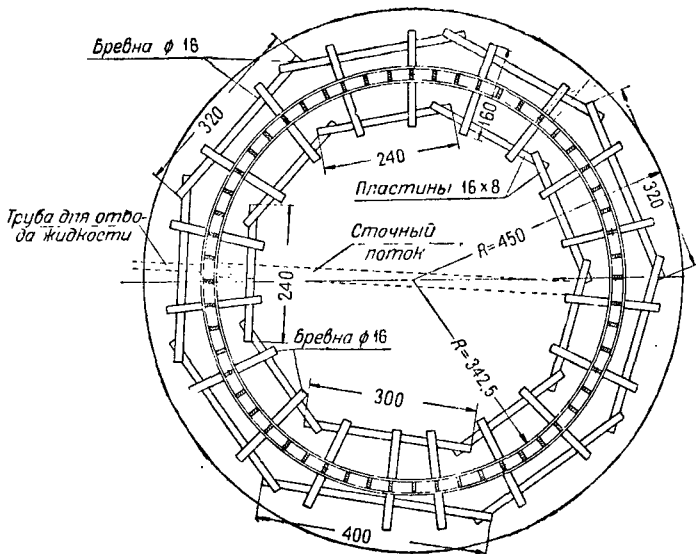
менение тонких пиломатериалов, которые трудно заготовить при ручной распиловке бревен; 2) значительный расход гвоздей; 3) трудность замены отдельных досок обшивки и стоек в случае изгнивания. Башни этой конструкции выпускаются нашими заводами двух основных размеров: 1) емкостью 450 м<sup>3</sup> (около 300 т силоса) и 2) емкостью 300 м<sup>3</sup> (около 200 т силоса) (фиг. 2 и 3).

Основной деревянный цилиндр башни состоит из стоек (числом от 48 до 56) сечением 5 × 13 см, расставленных по окружности цилиндра на рав-

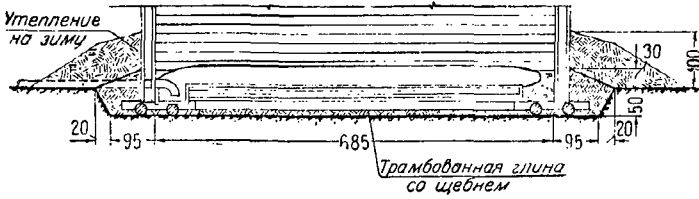
обычно прикрепляется гвоздями диаметром 2,6 мм, причем для пришивки первого слоя берутся гвозди длиной 50 мм, а для второго — 70 мм; основной расчетный гвоздевой забой распределяется по второму слою обшивки, в то время как первый слой прошивается лишь монтажными гвоздями, необходимыми только для плотного прилегания к стойкам прибиваемых досок. Как показала практика, для этой цели достаточно забить по одному гвоздю на пересечение каждой доски первого слоя со стойкой. Каждый из слоев обшивки является как бы накладкой для другого слоя



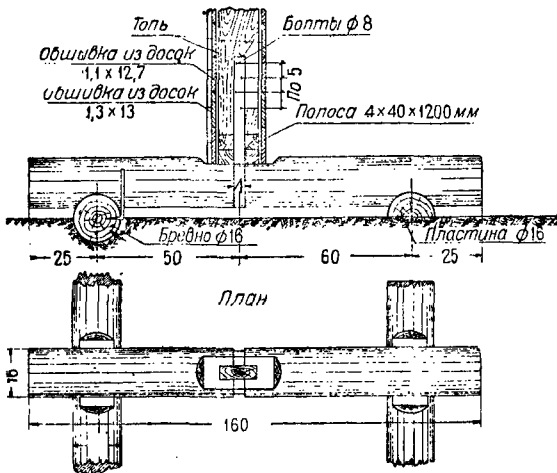
Фиг. 5. Вариант мелкой кирпичной подземной части, разрез



Фиг. 7. План ростверка



Фиг. 6. Разрез ростверка



Фиг. 8. Детали устройства ростверка

По высоте башни гвоздевой забой распределяется участками в количестве 3—6 зон. Во избежание коробления досок при неизбежном набухании их по второму слою внутренней обшивки следует забивать не менее двух гвоздей на каждом пересечении доски со стойкой. Монтажные гвозди первого слоя следует забивать по середине доски; во втором слое гвозди должны ставиться ближе к краям досок настилов.

Конструктивные детали наиболее ответственной фундаментной части башни приведены на фиг. 5—9.

Особое внимание должно быть обращено на конструирование обрамления люковых отверстий, которые вообще являются одним из наиболее уязвимых мест конструкции башни. Гнучо-настильные силосные башни возводятся обычно при помощи легких внутренних и наружных лесов (фиг. 10). Во время эксплуатации следует рекомендовать периодическую (не реже одного раза в год) побелку снаружи всей башни.

### 6. Клепочно-обручные башни

Основной рабочий деревянный цилиндр клепочно-обручной силосной башни представляет собой по конструкции обычную бочку или чай больших размеров. Стандартные деревянные «клепки» стягиваются специальными металлическими обручами-хомутами. Первые башни этой конструкции были осуществлены в Америке проф. Кингом.

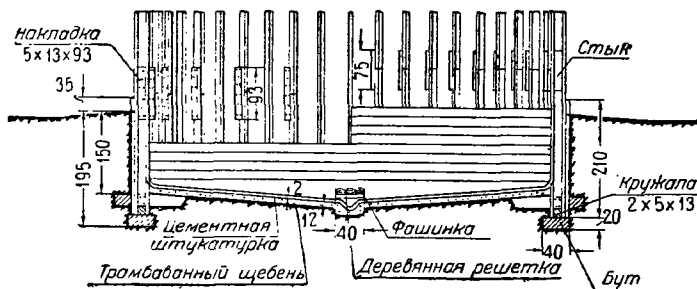
К достоинствам клепочно-обручных силосных башен надо отнести: 1) малую стоимость башни; 2) стандартность элементов клепки заводского изготовления; 3) почти полное отсутствие врубок и сложных конструктивных деталей; 4) легкость и быстроту сборки; 5) возможность быстрой разборки, перевозки и повторной сборки в другом месте; 6) возможность замены отдельных загнивших клепок.

Недостатками этой конструкции, ограничивающими область ее применения, являются: 1) значительный расход металла на обручи, составляющий до 10—15% от веса всей башни; 2) необходимость применения для клепки древесины повышенного качества, без трещин, косослоя и больших сучков; 3) повышенные требования к точности заготовки шпунтованной клепки на лесопильных заводах; 4) неизбежность периодического набухания и усушки клепок, которые при отсутствии надлежащего эксплуатационного режима вызывают значительное перенапряжение стали в обручах; 5) сложность в эксплуатации вследствие необходимости частой регулировки натяжения металлических обручей и 7) пониженная устойчивость всей башни в целом в отношении воздействия горизонтальных сил.

Деревянные клепочно-обручные башни выполняются в двух конструктивных вариантах.

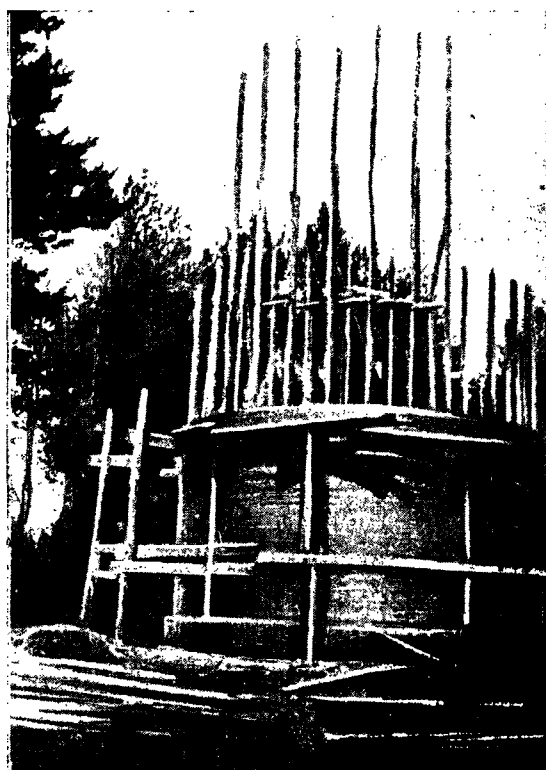
Первый тип (фиг. 11) — «клепчатая башня 1931 г.» — осуществлялся емкостью 300 м<sup>3</sup> и имел для жесткости отдельные брусчатые клепки-ребра, размещавшиеся по окружности периметра башни через 0,8—1,02 м. Ребра предназначались для увеличения устойчивости башни, крепились анкерами к фундаментам и служили

для прикрепления утепляющих стандартных щитов; они же воспринимали нагрузку от веса строповой кровли. Опыт строительства и эксплуатации башен этого типа большой емкости выявил целый ряд недостатков, значительно сокративших их применение. Аналогичная конструкция



Фиг. 9. Вариант деревянной подземной части

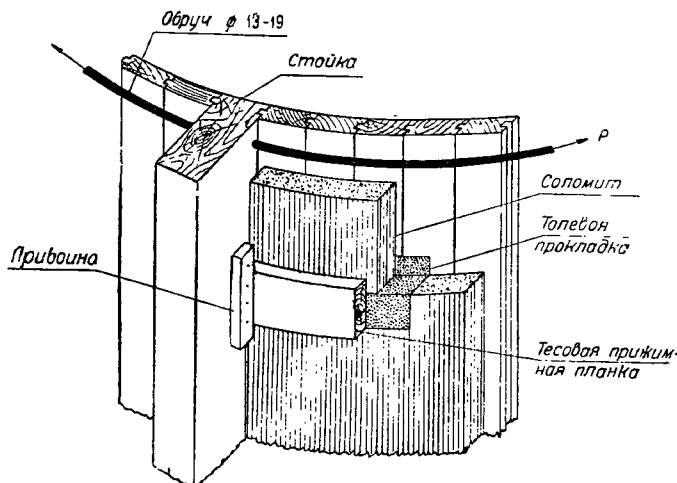
для башен средней и малой емкости (в 100 и 200 м<sup>3</sup>) имеет высокие технико-экономические показатели и принята в стандартной заготовке. Довольно просто и конструктивно утепление этих башен



Фиг. 10

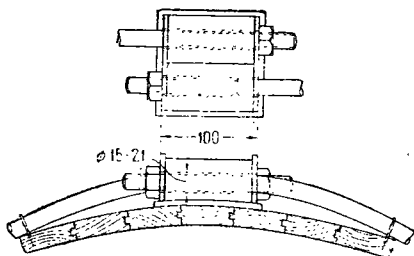
можно осуществлять соломитовыми щитами; щиты заготавливаются по ширине просветов между стойками-ребрами и укрепляются планками и накладками на гвоздях (фиг. 11). Металлический обруч (фиг. 12), состоящий из трех частей, стя-

гивается специальными чугунными муфтами и укрепляется П-образными скобами. Стойки ребра имеют в соответствующих местах вровень с внешней поверхностью клепки отверстия для пропуска



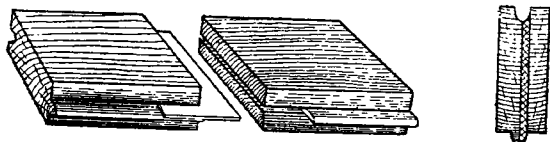
Фиг. 11. Деталь укрепления соломита

металлических обручей. При нарезке концы обручей должны быть осажены настолько, чтобы меньший диаметр нарезки был не менее основного диаметра обруча.



Фиг. 12. Чугунная муфта

Второй тип клепно-обручовой силосной башни — «клепчаная башня 1932 г.» — не имеет клепочных ребер-стоек, а состоит только из стандартных шпунтованных клепок толщиной в 4,5 см и шириною в 12,0 см (после острожки). Торцевые стыки клепок осуществляются на



Фиг. 13. Устройство шпунта, гребня и прорезов для соединительных пластинок

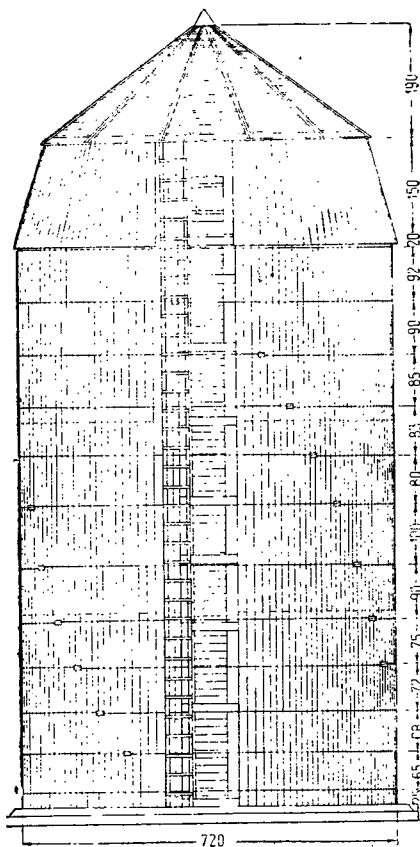
шпунт с прорезами и с постановкой в них тонкой металлической прокладки из оцинкованного листового железа (фиг. 13). Стыки располагаются вразбежку. В проекте типовой клепно-обручовой башни 1932 г. нижние семь обручей имеют диаметр 19 мм, верхние 6 — диаметр 13 мм. Расположение обручей по фасаду башни показано

на фиг. 14. Внизу башни устанавливаются два обруча рядом. Благодаря наличию на одном обруче трех компенсирующих муфт легко путем простой подтяжки гаек получить желаемую степень натяжения металлических хомутов. Муфты располагаются вразбежку, образуя как бы винтообразную линию.

Клепка рассчитывается как многопролетная балка на поперечный изгиб, вызываемый давлением силосной массы, с учетом осевого сжатия клепки от веса шатра и собственного веса башни. По проекту 1931 г. клепка была установлена толщиной в 3,8 см, однако низкое качество древесины, идущей на заготовку клепок, небрежная сборка и неправильная эксплуатация башен показали необходимость увеличить толщину клепки до 4,5 см.

Металлические обручи рассчитываются на суммарное давление от силосной массы и от набухания клепки по ф-ле (1).

По высоте обручи распределяются (в соответствии с трапециевидной энурой давлений) в центрах тяжести трапеций, соответствующих мощности каждого обруча. Допускаемое напряжение на железо для обручей принимается  $[n_1] = 1400 \text{ кг/см}^2$ .

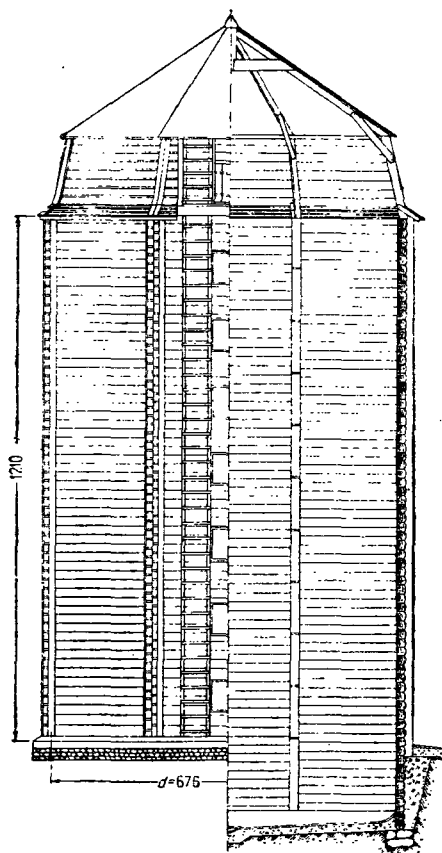


Фиг. 14. Клепчаная башня типа 1932 г.



### 7. Рубленые многогранные башни

Рубленые многогранные силосные башни впервые были спроектированы и осуществлены в СССР в процессе проработки и выявления лучших



Фиг. 15. Разрез и фасад рубленой башни

типовых стандартных конструкций силосных башен. В настоящее время имеются три типа рубленых многогранных башен:

- 1) шестигранная и восьмигранная рубленые башни из бревен и пластин на треугольных врубках<sup>1</sup>;
- 2) лекальная многогранная башня из досок на нагелях<sup>2</sup>;
- 3) восьмигранная дощатая башня на гвоздях и треугольных врубках<sup>3</sup>.

Основными достоинствами этих башен являются: 1) малый расход металла, особенно в конструкциях, осуществленных на треугольных врубках; 2) применение малоквалифицированной рабочей силы для сборки башен; 3) возможность использования лесоматериала пониженного качества не только пиленого, но и в бревнах и пластинах; 4) простота эксплуатации; 5) большая устойчивость конструкции в целом; 6) возможность кустарного возведения в лесистых местностях Союза и 7) большое тепловое сопротивление сте-

<sup>1</sup> Предложена в 1930 г. автором и разработана инж. Гогунцевым.

<sup>2</sup> Предложена и спроектирована инж. Архиповым.

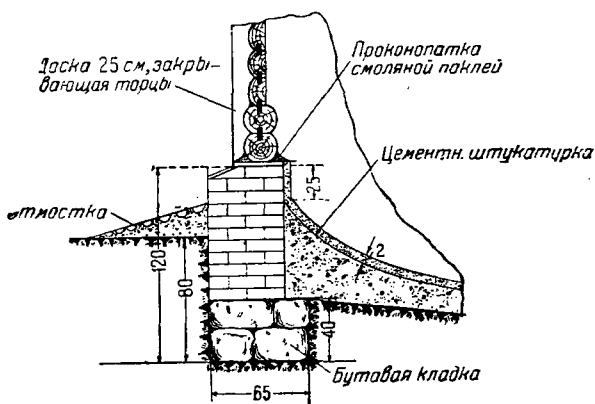
<sup>3</sup> Предложена автором, спроектирована и осуществлена Молокосюзом.

нок башни, не нуждающихся в специальных утеплителях.

Характерными недостатками рубленых башен являются:

- 1) значительный расход дерева, в 3—4 раза превосходящий расход дерева в гнuto-настильных и клеючно-обручных башнях;
- 2) значительная трудоемкость заготовки элементов;
- 3) наличие значительного количества горизонтальных швов, трудно изолируемых от проникновения воздуха и просачивания жижи силоса;
- 4) возможность быстрого загнивания отдельных элементов;
- 5) трудность замены поврежденных частей конструкции;
- 6) наличие недостаточно ровной и гладкой внутренней поверхности, что увеличивает возможность неравномерной осадки силоса с образованием пустот и его порчи.

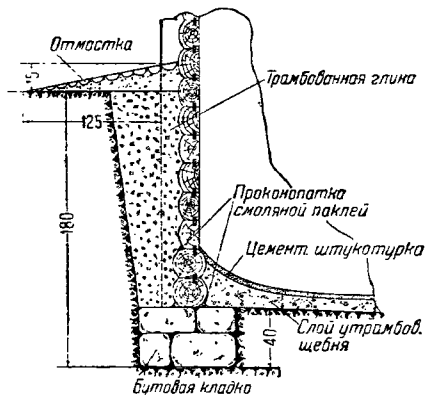
Из всех конструкций рубленых многогранных силосных башен наибольшее применение получила шестигранная башня из пластин на треугольных врубках (фиг. 15). Стандартные башни этой конструкции запроектированы емкостью в 450 и 300 м<sup>3</sup> соответственно на 300 и 200 т силоса. Рубленые стены целесообразно опирать на каменный фундамент (фиг. 16) того же многоуголь-



Фиг. 16. Деталь сопряжения нижних венцов с каменной кладкой

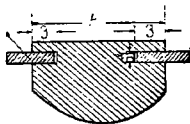
ного очертания в плане. Однако при отсутствии достаточного количества каменных материалов и необходимости увеличения емкости башни за счет углубления дна деревянный сруб стен приходится опускать до самого дна, опирая его на два слоя бутовой кладки (фиг. 17) или просто на деревянный ростверк. Деталь обработанной пластины в типовом проекте приведена на фиг. 18. В целях увеличения плотности горизонтальных швов между отдельными пластинами делается шурупный паз со специально вставленной рейкой. В расчетном отношении каждая пластина рассматривается как балка на двух опорах, нагруженная равномерной горизонтальной нагрузкой от давления силоса. Основной рабочей скрепляющей частью является обычная треугольная врубка в каждом элементе пластины с обоих концов. Эта врубка детально показана на фиг. 19. Практика выявила значительную трудоемкость заготовки пластин с подобными врубками, почему и было предложено более простое соединение пластин односторонней треугольной врубкой (фиг. 20). При заготовке и сборке элементов на треугольных врубках следует обращать особое внимание на плотное прилегание смежных ра-

бочих поверхностей  $ab$ , а равно и на наличие торцевых трещин в пластинах; последние особенно опасны в пределах рабочей поверхности на скалывание.



Фиг. 17. Конструкция углубленного дна рубленной башни

Во избежание намокания обнаженных торцов пластин от косого дождя рекомендуется нашивать по торцам пластин, прикрепляемых гвоздями

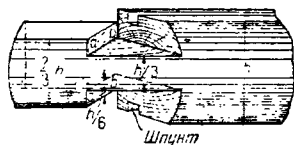


Фиг. 18. Деталь обработанной пластины, поперечное сечение

(фиг. 21). В целях устранения внутренних пауз, сдерживающих равномерность осадки силлажа, в углах башни крепится гвоздями специальный



Рубка угла системы Гогунпева



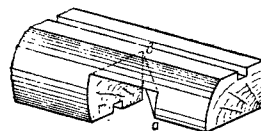
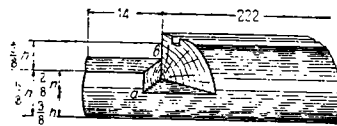
Симметричная треугольная рубка

Фиг. 19.

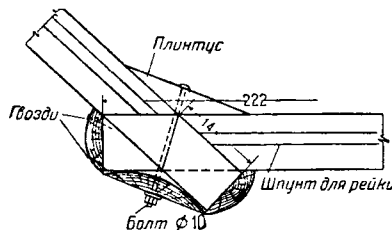
плинтус треугольного сечения, который с помощью болтов прижимает к срубе такую же внешнюю рейку, закрывающую узловое соединение с наружной стороны.

В первые годы эксплуатации силосные башни такой конструкции сильно садятся вследствие усушки и уплотнения горизонтальных швов.

Поэтому вертикально прибитые пластины и нашивки треугольного сечения по фиг. 21 нужно делать длиной не более 1 м и оставлять между их торцами зазоры шириной 1—2 см.



Фиг. 20. Деталь односторонней рубки для башни емкостью 150 т



Фиг. 21. Плинтус из горбылей

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов П. П., Деревянная лекальная силосная башня, «Строитель» № 3, 1933 г. стр. 35—41.
2. Архипов П. П., Расчеты силосных сооружений, Сельхозгиз, М. 1932 г., стр. 15.
3. Архипов П. П., Болотин Е. А., Зускин А. Я., Справочник по силосному строительству, Сельхозгиз, М. 1933 г., стр. 264.
4. Болотин Е. А., Силосование кормов в совхозах и колхозах, Сельхозгиз, М.-Л. 1931 г., стр. 180.
5. Всесоюзный научно-исследовательский институт по проектированию с.-х. зданий и сооружений. Типовые проекты с.-х. строительства в колхозах, ВНИИсельхоз, М. 1933 г., стр. 31.
6. Гогунцев К., Деревянная силосная башня рубленного типа, Госсельхозгиз, М.-Л. 1931 г., стр. 40.
7. Зубкин А. Я. и Падкин М. Я., Руководство по строительству силосной башни висячего типа, Сельхозгиз, М. 1932 г., стр. 103.
8. Лященко Д., О методах расчета деревянных стандартных силосных башен, «Строит. пром.» № 10, 1930 г., стр. 809—810.
9. Лященко Д., Приступаем к массовому строительству силосов, «Строитель» № 13—14, 1930 г., стр. 35—38.
10. Лященко Д., Деревянная силосная башня клепочного типа емкостью 300 т, Сельхозгиз, М.-Л. 1931 г., стр. 56.
11. Лященко Д., Сборник деревянных стандартных силосных башен, «Строитель» № 15, 1930 г.
12. Павлович Н. К., Силосование, или заквашивание, кормов, «Новый агроном», 1930 г., стр. 43.
13. Падкин М. Я., Силосные сооружения, Сельхозгиз, 1933 г.
14. Падкин М. Я. и Зубкин А. Я., Деревянная силосная башня с рублеными стенами, НКЗ СССР, Силосстрой, Сельхозгиз, 1934 г.
15. Поворов П. Т., Руководство по строительству силосных башен, Сельхозгиз, М. 1932 г.
16. Руководство по строительству силосных башен, 1-й траншей, изд. треста Совхозстрой, 1930 г.
17. Типовые проекты для строительства в колхозах на 1935 г., Сельхозстройпроект НКЗ СССР, 1934 г.
18. Сорокин Н. В. и Шумский С. Л., Деревянный силосный корпус емкостью 17 500 т, «Сов. мукомолье и хлебопеч.» № 8, 1934 г.
19. Союзсельстрой, Типовые проекты сельскохозяйственного строительства, Сельхозгиз, М. 1932—1933 г.

Инж. М. Ф. КОВАЛЬЧУК

## VII. ДЕРЕВЯННЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ

### 1. Общие сведения

Деревянные клепочные резервуары (баки, чагы) применяются для хранения главным образом воды или водных растворов, свободно отдающих воду, так как вследствие намокания древесины щели между отдельными клепками «забухают».

Деревянные резервуары можно также применять для хранения растворов солей и кислот, поглощающих воду из мокрой древесины, но в этом случае необходим очень сухой (искусственной сушки) и тщательно отобранный лес радиальной распиловки (радиальное направление в поперечном сечении клепки должно быть параллельно касательной к поперечному сечению резервуара). Этими мероприятиями уменьшается влияние деформаций от усушки; необходимо также обеспечить тщательную обработку кромок клепки и первоначальное натяжение хомутов. Хомуты следует натягивать равномерно и несколько раз, учитывая, что с течением времени вследствие пластического обмятия древесины под хомутами сдает и уменьшается в объеме вследствие понижения ее влажности за счет поглощения воды раствором.

### 2. Материал

В качестве материала для резервуаров применяются лиственница, сосна, дуб, кинарис и др. В отношении требований к материалам для резервуаров надлежит руководствоваться в основном ТУ на материалы для непрерывных деревянных труб.

В деревянных резервуарах, как и в деревянных трубах, используются свойства дерева: 1) изменять объем с изменением влажности (разбухание); 2) весьма слабая водопроницаемость древесины поперек волокон. Поэтому требования, предъявляемые к древесине, должны обеспечить пиломатериалы от влияния пороков, снижающих эти свойства дерева. В основном эти требования сводятся к следующему.

Древесина должна быть сухой (около 15% влажности), здоровой, мелкослойной. Допускаются заболонь глубиной не более  $\frac{1}{3}$  доски, неглубокая поверхностная синевая; здоровые, сросшиеся с окружающей древесиной сучки: односторонние — в неограниченном количестве; сквозные — диаметром по большой оси менее  $\frac{1}{3}$  ширины доски — в количестве не более двух на 1 пог. м доски.

Не допускаются: повреждения гнилью и водослоем; сучки лапчатые, черные, выпадающие, ивлевые, крапивные, табачные, а также червоточина, сквозные метиловые и морозобойные трещины, отлупы, косослой (больше 3%), свиленатость.

Долговечность деревянных труб и деревянных резервуаров зависит от условий эксплуатации сооружения, а также от мероприятий против ржавления хомутов и загнивания древесины.

Для деревянных труб и резервуаров с постоянным давлением 0,75—1,5 ат и более срок службы определяется сроком службы металлических хомутов, так как древесина, находясь постоянно в мокром состоянии, не гниет.

Если же давление периодически уменьшается и создаются благоприятные условия для высыхания

клепки, срок ее службы значительно сокращается (не более 10—15 лет).

Высыхание древесины легче всего происходит у концов клепки. В случаях необеспеченной влажности клепки желательно антисептировать ее маслянистым антисептиком (креозотовым маслом).

В американской практике применяются креозотирированные трубы для пропуска воды, предназначенной для целей орошения и даже для домашних надобностей.

Возможна также осмолка бака снаружи тугоплавкими сортами смолы. В данном случае смола должна препятствовать высыханию клепки.

### 3. Конструкция резервуаров

Конструкция деревянных клепочных резервуаров аналогична конструкции деревянных труб и состоит из трех элементов: 1) стенки и 2) днища из досок (клепки), примыкающих вплотную друг к другу, 3) хомутов (бандажей, обручей), воспринимающих распор от давления воды.

#### 1) Стенки

Форма резервуара может быть цилиндрическая или коническая. Если это не вызывается особыми требованиями (например к отстойникам) или условием натяжки обручей без натяжных замков, резервуары делать коническими не рекомендуется, так как, не имея никаких преимуществ перед цилиндрическими, конические резервуары сложнее в работе.

Соотношение между диаметром  $D$  резервуара и его высотой  $H$  обычно назначают  $\frac{D}{H} \approx 1$ . Толщину  $\delta$  вертикальной клепки следует назначать главным образом в зависимости от диаметра  $D$ . Ориентировочно

$$\frac{\delta}{D} \geq \frac{1}{60} \quad (\text{при } \frac{D}{H} \approx 1).$$

Толщину  $\delta$  меньше 6 см назначать не рекомендуется, так как при опораживании резервуара более тонкая клепка может быстро высохнуть и рассыпаться.

При  $\frac{\delta}{D} < \frac{1}{60}$  вследствие первоначального натяжения хомутов и разбухания клепки при пустом резервуаре возможно искажение круглого сечения резервуара. В таких случаях рекомендуется увеличить жесткость резервуара дополнительными конструктивными мероприятиями (например постановкой сверху жесткой диафрагмы).

Для высоких резервуаров, в которых влияние днища на устойчивость стенки незначительно, отношение  $\frac{\delta}{D}$  следует увеличить до

$$\frac{1}{50} - \frac{1}{43}.$$

В практике деревянного трубостроения это отношение принимается большим или равным  $\frac{1}{40}$ .

Для низких резервуаров ( $\frac{D}{H} > 1$ ) отношение  $\frac{\delta}{D}$  может назначаться и меньше  $\frac{1}{60}$ .

Боковую грань (кромку) клепки, направленную по радиусу резервуара, рекомендуется делать плоской, скошенной внутрь резервуара

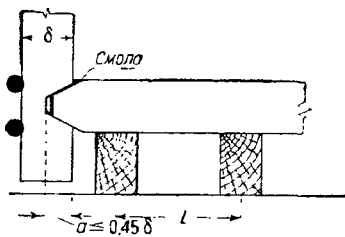
соответственно направлению радиуса, и обрабатывать под фуганок, дабы обеспечить плотное примыкание клепок друг к другу по всей поверхности соприкосновения. Возможна поставка шпонок, имеющих монтажное значение. Шпонки не должны препятствовать уплотнению швов клепки. Применение шпунта не рекомендуется, так как это увеличивает расход древесины и рабочей силы и не только не повышает водонепроницаемости, но зачастую даже понижает ее вследствие механического повреждения шпунта или засорения паза.

Для резервуаров больших диаметров обработка наружной и внутренней поверхностей клепки обязательна, но необходима плоская острожка, обеспечивающая точность и тщательность изготовления клепки.

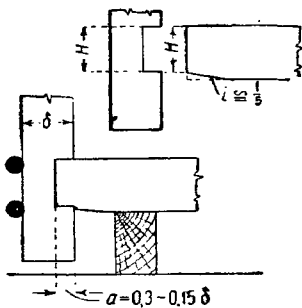
## 2) Днище

Днище следует изготавливать из досок, расположенных параллельно друг к другу, без шпунта, с постановкой деревянных шпонок. Толщина досок днища, как правило, равна толщине вертикальной клепки.

Примеры примыкания днища к вертикальной стенке показаны на фиг. 1 и 2.



Фиг. 1. Примыкание днища к вертикальной клепке



Фиг. 2. Примыкание днища к вертикальной клепке

Вариант фиг. 1 надежнее в отношении уплотнения шва (возможно уплотнение при последующей подтяжке хомутов).

Вариант фиг. 2 удобнее в отношении монтажа резервуара, так как каждая отдельная клепка может держаться вертикально за счет защемления в пазу у днища.

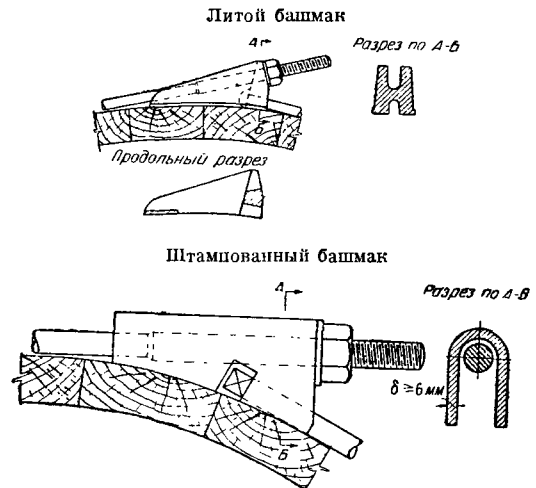
Расстановка балок под днищем должна обеспечить днищу жесткость, соответствующую прогибу  $\frac{f}{l} = \frac{1}{1000}$ , где  $f$  — прогиб клепки днища,  $l$  — расстояние между балками, располо-

женными непосредственно под днищем. Вся нагрузка от бака должна передаваться через днище, на которое опирается также и клепка. Под резервуаром необходимо обеспечить продух для проветривания.

## 3) Хомуты

Распор от давления воды воспринимается хомутами (обручами, бандажами).

Для металлических хомутов следует всегда предпочесть круглое железо.



Фиг. 3. Замки для хомутов

Хомуты резервуаров аналогичны хомутам деревянных непрерывных труб. Во избежание местного ослабления железа рекомендуется делать осадку конца хомута на всю длину нарезки.

Натяжение хомута производится посредством специальных замков, некоторые из типов которых показаны на фиг. 3.

Конструкция башмаков для замков должна обеспечивать их от выворачивания. Количество замков на один хомут — не менее двух, а для баков диаметром более 4—5 м в целях обеспечения равномерного натяжения хомутов — не менее трех. Замки располагаются вразбежку. Расстояние между хомутами определяется по расчету, но не должно превышать 50 см. Допускаемое напряжение смятия под хомутами  $[\sigma_c] = 50 \text{ кг/см}^2$ , считая условно ширину полосы смятия равной радиусу сечения хомута. Для лучшего прилегания к резервуару хомуты должны быть заранее выгнуты по кругу. Во избежание ржавления рекомендуется до и после установки покрыть их асфальтовым лаком, кузбаслаком или суриком на масле.

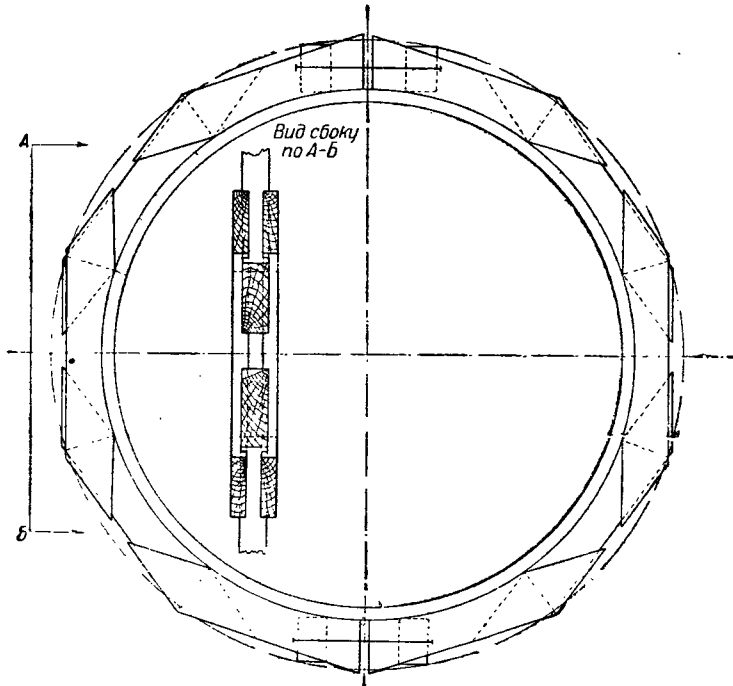
Для баков небольших емкостей (до 100—120 м<sup>3</sup>) вместо металлических хомутов можно применять деревянные со стяжным замком.

Деревянный хомут представляет собой замкнутое кольцо из выкружаленных досок, передающих усилие друг другу посредством врубок (фиг. 4).

Количество элементов по окружности назначается в зависимости от диаметра бака. Схема деревянного хомута показано на фиг. 5; в каждом замке сгавится один болт. Число замков на хомут должно быть не менее двух. В местах

врубок между отдельными хомутами в случае разреженной расстановки их следует ставить распорки для предотвращения раскрытия вру-

Деревянные хомуты требуют аккуратного, точно по проекту стандартного изготовления элементов и должного хранения их до установки

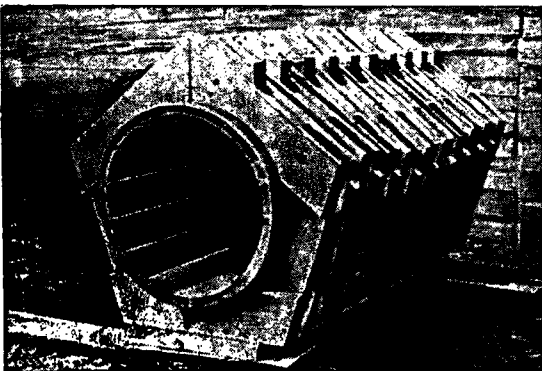


Фиг. 4. Общий вид деревянного хомута

бок или же поставить болты. Основной материал для хомутов — сосна. Для обеспечения долговечности древесину следует креозотири-



Фиг. 5. Схема деревянного хомута с замком



Фиг. 6. Труба с деревянными хомутами

вать. При конструировании врубок и выборе допускаемых напряжений надлежит руководствоваться ТУ и Н.

во избежание коробления и растрескивания отдельных косяков. Для уничтожения влияния рыхлости врубок рекомендуется до заполнения бака производить подтяжку хомутов 2—3 раза, причем последняя подтяжка должна быть непосредственно перед замочкой. В отношении обеспечения плотности эта конструкция еще недостаточно проверена.

На фиг. 6 приведен снимок опытного образца трубы  $D = 70$  см с деревянными хомутами, в котором давление было доведено до 3 ат, причем при давлении до 2,5 ат утечки воды не наблюдалось.

#### 4. Расчет хомутов

При подсчете усилия на хомут вводятся в расчет:

- 1) усилие от гидростатического давления:

$$N_1 = p_0 r s, \quad (1)$$

где  $p_0$  — давление воды в  $кг/см^2$ ;  
 $r$  — радиус резервуара в  $см$ ;  
 $s$  — расстояние между хомутами в  $см$ ;

- 2) усилие от разбухания:

$$N_2 = n_p \delta s, \quad (2)$$

где  $n_p$  — напряжение от разбухания в кромке кленки в  $кг/см^2$ ;

$\delta$  — толщина кленки в  $см$ .

Таким образом полное усилие:

$$N = N_1 + N_2. \quad (3)$$

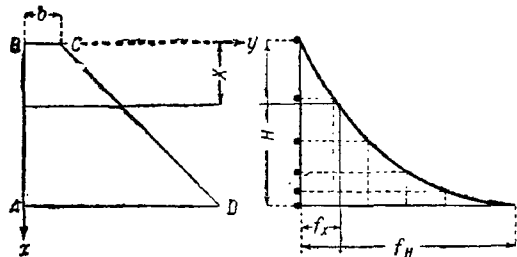
Для обобщения расчета можно пользоваться формулой:

$$N = prs, \quad (4)$$

где  $p$  — приведенное давление:

$$p = p_0 + \frac{\delta}{r} n_p. \quad (5)$$

По американским опытам (Adams)  $n_p = 6 - 7 \text{ кг/см}^2$ .



Фиг. 7

При определении расстояний между хомутами пользуются следующими формулами: из условия прочности хомута на растяжение:

$$s = \frac{\pi d^2 [n_{\text{ж}}]}{4 pr}, \quad (6)$$

где  $d$  — диаметр сечения хомутов;

$$[n_{\text{ж}}] \leq 1200 \text{ кг/см}^2;$$

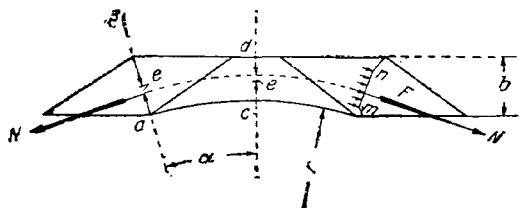
из условия смятия древесины под хомутом:

$$s = \frac{d [n_c]}{2p}, \quad (7)$$

где  $[n_c] \leq 50 \text{ кг/см}^2$ .

Приравняв значения  $s$ , полученные по обеим формулам, получим:

$$d = \frac{2 [n_c]}{\pi [n_{\text{ж}}]}. \quad (8)$$



Фиг. 8

Практически в резервуарах вследствие большого значения радиуса  $r$  величина  $[n_c]$  полностью не используется.

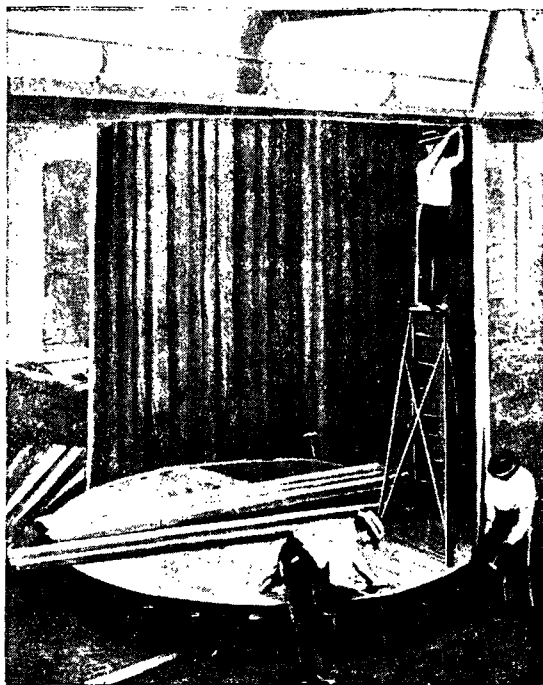
Общее количество хомутов определяется по площади трапециевидной эпюры усилий  $ABCD$  (фиг. 7). Разбивку хомутов можно произвести двояко:

- 1) разбить площадку  $ABCD$  на  $m$  равновеликих площадей и расположить хомуты в центре тяжести или на гранях этих площадей;
- 2) произвести разбивку по интегральной кривой с уравнением:

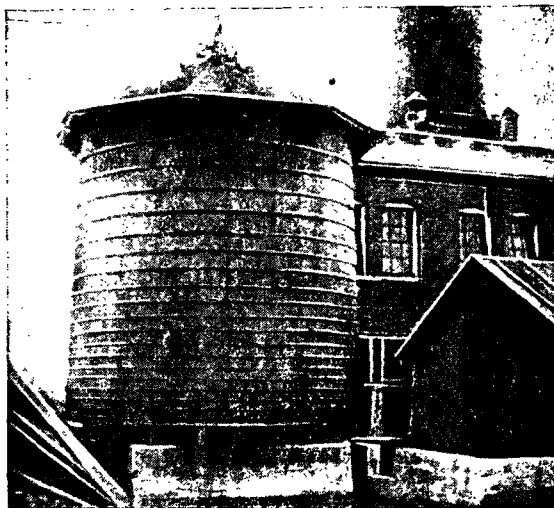
$$f_x = 5x^2 + 100 \frac{\delta}{r} n_p x.$$

Это уравнение представляет собой площадь эпюры давления на глубине  $x$  — в  $m$ ,  $n_p$  — в  $\text{кг/см}^2$ ;  $f_n$  равно площади  $ABCD$ .

Разбивая  $f_n$  на  $m$  равновеликих частей, при помощи кривой можно разбить площадь  $ABCD$  на  $m$  равновеликих площадок, на грани которых можно располагать хомуты.



Фиг. 9. Монтаж деревянного резервуара (Америка)



Фиг. 10. Осуществленный деревянный резервуар (Америка)

Применение обоих этих способов конечно необязательно. Можно располагать хомуты участками по 3—5 шт. с одинаковыми расстояниями на одном участке.

Однако при всякой разбивке хомутов два хомута должны быть поставлены у дна (один

из них в расчет не вводится) и один у верхней кромки бака.

Ввиду отсутствия изгиба кольцевого деревянного хомута кривая давления в нем пройдет таким образом, что в отдельных косяках могут быть только местные изгибающие моменты разного знака, в целом взаимно компенсирующие друг друга.

Проведя окружность (фиг. 8) таким образом, чтобы эксцентриситеты  $e$  в сечениях  $ab$  и  $cd$  были равны, можем приближенно считать эту окружность кривой давления при расчете косяка на изгиб и врубок на скалывание и смятие.

Величина эксцентриситета  $e$  будет при этом равна:

$$e = 0,25 \left( r + \frac{b}{\cos \alpha} \right) (1 - \cos \alpha), \quad (9)$$

где  $b$  — ширина доски косяка (фиг. 8);

$\alpha$  — угол, соответствующий половине косяка.

В соответствии с эксцентриситетом по фле (9) равномерное напряжение по ослабленному врубкой сечению косяка при проверке напряжения должно умножаться на коэффициент  $k$ , равный:

$$k = 1 + 1,7 \left( 1 + \frac{r}{b} \cos \alpha \right) (1 - \cos \alpha). \quad (10)$$

Во избежание скалывания краев врубки возле точек  $a$  и  $b$  можно рекомендовать подрезку опорных площадок у этих точек с тем, чтобы остающаяся часть  $mn$  площадки (фиг. 8 справа) была симметрична относительно кривой давления и удовлетворяла расчету на смятие под углом  $\alpha$  к волокнам.

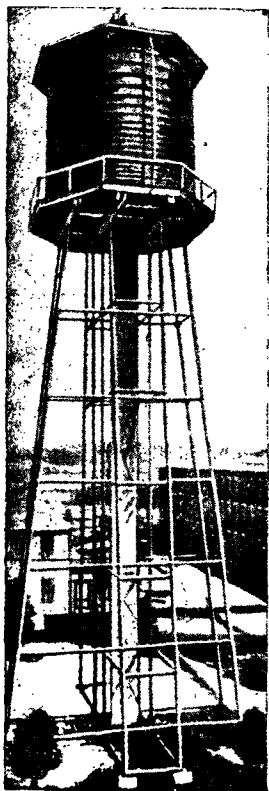
При расчете врубки на скалывание необходимо учесть эксцентричное действие скалывающей силы  $N$  относительно центра тяжести  $F$  скалывающейся площадки путем некоторого снижения допускаемого напряжения на скалывание.

Вследствие некоторой податливости деревянных хомутов величина  $n_r$  напряжения от разбухания в ф-ле (5) может быть снижена до  $4 \text{ кг/см}^2$ .

### 5. Примеры деревянных резервуаров

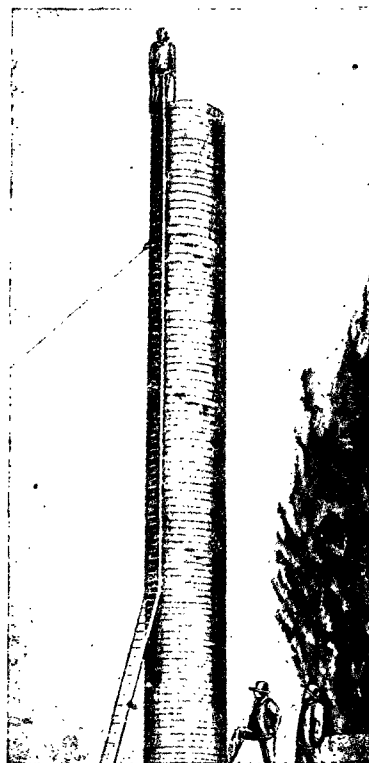
Ниже приводятся фотографии построенных

деревянных баков (фиг. 9, 10 и 11), взятые из американского каталога.



Фиг. 11. Деревянный резервуар из клеши с металлическими хомутами

На фиг. 12 показана фотография деревянной водонапорной колонны<sup>1</sup> для городского водопровода. Эта конструкция кроме внутреннего гидростатического давления должна воспринять горизонтальные ветровые нагрузки, а потому



Фиг. 12. Напорная башня из клепочных труб

требует постановки расчалок. Кроме того необходимо воспринять усилия сдвига, возникающие в продольных швах между отдельными клеками. Эти усилия должны быть восприняты силой трения, возникающей в продольных швах от натяжения хомутов, что следовательно требует постоянного заполнения сооружения водой.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Попков А. Д., Деревянные трубы, 1932 г. (в книге приведен подробный список литературы).
2. Личевский, Деревянные напорные трубопроводы, 1933 г.
3. Проф. Дроздов В. А., Деревянные водопроводные трубы из клепок по американскому способу, 1930 г.
4. Wooden Tanks for every Purpose. The Hauser Stauder Tank Co Cincinnati, O [Catalog 33].

<sup>1</sup> Заимствована из книги Дроздова В. А. «Деревянные водопроводные трубы из клепок по американскому способу».

### УШ. МАЧТЫ НА ОТТЯЖКАХ

#### 1. Условия работы мачт

Мачты на оттяжках служат главным образом для подвески радиотелеграфных сетей, но они могут с успехом применяться при переходах силовых магистралей через реки значительной ширины в тех случаях, когда требуется соблюсти высокую подвеску проводов. Ввиду отсутствия принципиальных различий в конструкции и расчете таких мачт в дальнейшем рассматриваются только радиотелеграфные мачты.

Деревянные мачты на оттяжках имеют обычно следующие пределы применения. Однобрусчатые мачты строятся высотой до 50 м, трехбрусчатые — до 100 м и четырехбрусчатые — до 150 м. Последняя величина не является однако техническим пределом высоты брусчатых мачт.

Оттяжки радиомачт осуществляются из стальных витых тросов (вант) с временным сопротивлением разрыву от 120 до 160 кг/мм<sup>2</sup> поперечного сечения троса.

При расчете мачт должны быть учтены следующие три случая загрузки.

**Случай 1.** Гололед на проводах сети и оттяжках при одновременном действии ветра интенсивностью 30—50 кг/м<sup>2</sup> площади, перпендикулярной направлению ветра и при температуре около -5° С.

Обычно принимают, что диаметр обледенелого провода увеличивается за счет наростшего льда на 4—5 см. При этих условиях напряжение в проводах подвешенной сети может достигнуть временного сопротивления разрыву материала проводов и привести к обрыву сети, нередко наблюдаемому на практике. При расчете мачты усилие, действующее на нее со стороны сети, обычно принимается равным разрывающему усилию в проводах сети или же разрывающему усилию в подъемном канатике.

**Случай 2.** Действие ветра интенсивностью 150 кг/м<sup>2</sup> при площади, перпендикулярной направлению ветра поднятой сети. При увеличении интенсивности ветра свыше 150 кг/м<sup>2</sup> включается в действие специальное устройство, опускающее сеть.

**Случай 3.** Действие ветра интенсивностью до 250—300 кг/м<sup>2</sup> при опущенной сети. Обычно этот случай наиболее опасен для конструкции мачты и является расчетным для всех ее частей кроме одной или двух оттяжек верхнего яруса, воспринимающих нагрузку от сети.

Расчет конструкции мачт осложняется тем, что усилие в оттяжках и в самой мачте зависит от ее деформации; это приводит к кубическим уравнениям равновесия, крайне сложно разрешаемым в радикалах. Ниже приводится способ

расчета по методу последующего приближения<sup>2</sup>, дающий быстрое решение задачи с достаточной точностью.

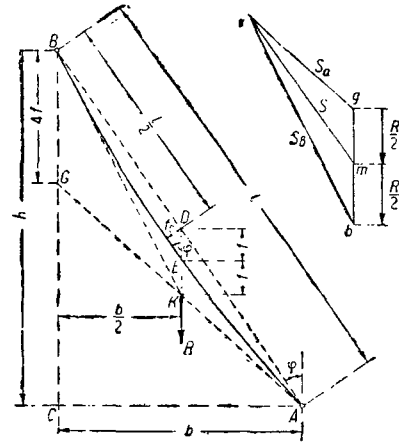
#### 2. Основы расчета гибкой нити

Полагаем, что силы, действующие на гибкую нить  $AB$ , закрепленную в точках  $A$  и  $B$  (фиг. 1), приложены в плоскости чертежа и выражаются формулой:

$$p_1 = c_1 ds,$$

где  $ds$  — длина элементарного участка гибкой нити,  $c_1$  — постоянная интенсивность нагрузки.

Нить расположится по так называемой «цепной линии». Однако пользование при расчете мачты уравнением цепной линии значительно усложняет задачу. При малой величине стрелы провисания нити  $f_0$  (что имеет место в случае расчета сетей и мачтовых оттяжек) цепная линия может быть с незначительной погрешностью



Фиг. 1. Схема расчета гибкой нити

заменена параболой второй степени. Для этой замены следует лишь предположить, что силы, действующие на нить, выражаются формулой:

$$p = cdl,$$

где  $dl$  — длина элементарного участка хорды  $AB$ ,  $c$  — интенсивность нагрузки.

Пусть  $AEB$  — дающая очертание нити веревочная кривая, построенная для сил  $p$ , параллельных  $BC$  (фиг. 1). Для построения этой веревочной кривой поступаем так. От середины  $D$  хорды  $AB$  откладываем по направлению действия сил отрезок  $DE = f$ . Если веревочная кривая проходит через точку  $E$ , то  $DE = f$  является так называемой «расчетной стрелой» провеса кривой. Касательные к кривой в точках  $A$  и  $B$  пересекутся в точке  $K$ , лежащей на продолжении прямой  $DE$ , причем  $EK = DE = f$  (что является общим свойством парабол второй степени).

Многоугольник сил  $bkq$ , для которого кривая  $AEB$  является веревочной кривой, подобен тре-

<sup>1</sup> Ветер интенсивностью 250—300 кг/м<sup>2</sup> площади, перпендикулярной направлению ветра, для расчета мачт и радиобашен является расчетной условностью, установленной практикой проектирования в ряде стран. Некоторое обоснование этой цифры приведено ниже на стр. 688. В результате развития теории обтекания и после изучения режима ветров той местности, где устанавливаются мачты, расчетная интенсивность ветра может быть снижена.

<sup>2</sup> Способ разработан автором.



угольнику  $BKG$ . Если отрезок  $bg$  в масштабе  $1/f$  представляет сумму сил  $p$ , действующих на нить, то отрезки  $bk$  и  $gk$  определят по величине и направлению усилия в нити в точках  $B$  и  $A$ . Прямая  $km$ , соединяющая точку  $k$  с серединой  $m$  отрезка  $bg$ , даст по величине и направлению значение усилия  $S$  в точке  $E$  нити. Из подобия треугольников  $bkg$  и  $BKG$  получаем;

$$S : R = \frac{l}{2} : 4f$$

или

$$S = \frac{Rl}{8f}$$

Рассматривая усилия  $S_a$  и  $S_b$  как равнодействующие сил  $S$  и  $\frac{R}{2}$ , можем сделать следующие выводы.

Гибкая нить, находящаяся под действием сплошной равномерной нагрузки, передает в точки закрепления такие же реактивные силы  $\frac{R}{2}$ , как если бы нить была вполне жесткой свободно опертой балкой. Кроме этих реактивных сил появляется «натяжное усилие»  $S$ , действующее по прямой, соединяющей точки закрепления нити.

Натяжное усилие определяется из выражения:

$$S = \frac{Rl}{8f}, \quad (1)$$

где  $R$  — полная нагрузка на нить;

$l$  — расстояние между точками закрепления нити;

$f$  — расчетная стрела провеса нити, измеряемая в середине ее длины по направлению действия сил.

Если так называемую «основную» стрелу провеса нити, измеряемую в ее середине по направлению перпендикуляра к ней, обозначить (фиг. 1) через  $f_0$ , то

$$f = \frac{f_0}{\sin \varphi}; \quad (2)$$

$$S = \frac{Rl \sin \varphi}{8f_0}, \quad (3)$$

где  $\varphi$  — угол между хордой нити и направлением действия сил, к отысканию которого и сводится задача расчета гибкой нити. Входящая в выражения (2) и (3) величина «основной» стрелы провеса  $f_0$  гибкой нити определяется с достаточной для практических целей точностью из выражения:

$$L = l + \frac{5f_0^2}{3l}; \quad (4)$$

где  $L$  — длина гибкой нити, измеренная по кривой;

$l$  — расстояние между точками закрепления нити (длина хорды).

Например если на нить (фиг. 1) действуют силы тяжести по направлению  $BC$ , выражаемые величиной  $p$  на погонную единицу длины хорды нити, то в точках  $A$  и  $B$  появятся реакции:

а) по направлению  $BC$  (по вертикали):

$$V = \frac{G}{2} = \frac{pl}{2}, \quad (5)$$

где  $G$  — вес всей нити;

б) по направлению  $AB$  (по хорде):

$$S = \frac{Gl \sin \varphi}{8f_0}. \quad (6)$$

Если же предположить, что по направлению  $BC$  (фиг. 1) действует не сила тяжести, а ветер определенной интенсивности, то результаты расчета будут различными в зависимости от того, каким образом мы будем определять действующую на нить ветровую нагрузку.

Возможны два способа определения ветровой нагрузки.

С и о с б 1. При расчете исходят из предположения, что ветровая нагрузка действует на каждый элемент нити по тому же направлению, по которому дует ветер. Тогда при действии ветра по направлению  $BC$  (фиг. 1) на концах нити возникнут реакции, определяемые из выражений (7) и (8), аналогичных ф-лам (5) и (6), т. е.:

а) по направлению ветра:

$$V = \frac{W}{2} = \frac{pl}{2}; \quad (7)$$

б) по направлению хорды кривой:

$$S = \frac{Wl \sin \varphi}{8f_0}, \quad (8)$$

где  $W$  — полная ветровая нагрузка на нить.

При этом интенсивность равномерной нагрузки на нить  $p$  кг/м определяется обычно из выражения:

$$p = \mu q d \sin \varphi, \quad (9)$$

где  $q$  — давление ветра на единичную площадку перпендикулярную к его направлению;

$d$  — толщина нити;

$\varphi$  — угол между направлением ветра и хордой нити;

$\mu$  — опытный коэффициент обтекания нити.

Из-за отсутствия опытных данных обычно принимают:

$$\mu = \frac{2}{3}$$

Подставляя значение  $p$  в выражения (7) и (8) и учитывая, что в рассматриваемом случае  $\varphi = \varphi$ , получим следующие величины реакций нити:

а) по направлению ветра:

$$\frac{W}{2} = 0,5 \mu q d l \sin \varphi; \quad (10)$$

1 В настоящее время величинам  $q$  и  $\mu$ , входящим в ф-лу (9), придается несколько иной смысл. За единицу интенсивности давления ветра  $q_0$  принимается (см. ГОСТ 7626а) так называемый «скоростной напор», определяемый по формуле:

$$q_0 = \frac{v^2}{16},$$

где  $v$  — скорость ветра в м/сек.

Величина  $q$  давления ветра на единичную площадку согласно новейшим данным может быть определена величиной  $q = 2q_0$ .

В соответствии с заменой величины  $q$  величиной  $2q_0$  коэффициенты  $\mu$  обтекания тоже меняют свою величину и должны быть заменены коэффициентами  $\mu_0$ . По новейшим данным коэффициент  $\mu_0$  обтекания для проводов и тросов может быть принят  $\mu_0 = 1,2$ . Сопоставив старый и новый методы расчета проводов и тросов, получим:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \frac{2}{3 - 1,2}; \quad \mu = \frac{5}{9} \mu_0;$$

$$q\mu = 2q_0 \cdot \frac{5}{9} \mu_0 = 1,11q_0\mu_0.$$

Как видно, числовая разница между результатами расчетов по обоим методам сравнительно невелика.

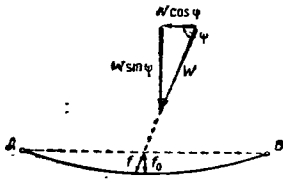
При определении ветровой нагрузки по существующим ГОСТ получаются примерно те же результаты, что и по изложенному в настоящей статье старому методу определения ветровой нагрузки на мачты.

Прим. автора

б) по направлению хорды кривой:

$$S = \frac{\mu q l^2 d \sin^2 \psi}{8 f_0} \quad (11)$$

Способ 2. При направлении ветра, образующем с направлением нити незначительный угол  $\psi$ , по видимому, более близко к истине предположение, что давление ветра действует на нить перпендикулярно к ее направлению. Разлагая силу  $W$ , определенную по ф-ле (10), на два направления — перпендикулярное и параллельное нити (фиг. 2), — мы можем допустить, что на нить



Фиг. 2. Действие сил под углом к нити

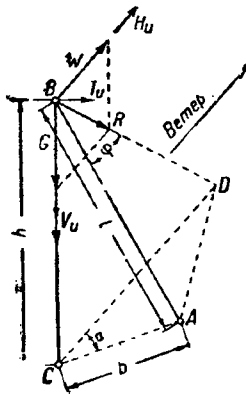
действует только перпендикулярная к ней слагающая:

$$R = W \sin \psi = p l \sin \psi = \mu q l d \sin^2 \psi \quad (12)$$

Натяжное усилие  $S$  в нити определится для этого случая из выражения (1):

$$S = \frac{R l}{8 f} = \frac{\mu q l^2 d \sin^2 \psi}{8 f_0} \quad (13)$$

Сравнивая выражения (11) и (13), видим, что величина натяжного усилия  $S$  в обоих случаях расчета имеет одно и то же значение, величины же опорных реакций, исчисляемых как для простой балки, различны.



Фиг. 3. Разложение сил в пространстве

Практически вполне удобно и при учете ветра по случаю 2 рассчитывать по ф-лам (10) и (11), но корректировать расчет добавочными реакциями  $U$ , действующими на узел по направлению хорды каждой из оттяжек и равными:

$$U = \frac{W \cos \psi}{2} = \frac{1}{2} \mu q l d \sin \psi \cos \psi \quad (14)$$

Направление действия этих сил на точки  $A$  и  $B$  прикрепления (со стороны нити) всегда принимается против направления ветра.

Применительно к расчету оттяжек разложим в узле  $B$  реактивные силы  $U$  по направлениям ветра, мачты и перпендикуляра к ним (фиг. 3). Составляющие сил  $U$  будут:

а) по направлению ветра:

$$\begin{aligned} H_u &= \frac{W \cos \psi}{2} \cdot \frac{b}{l} \cos \alpha = \\ &= \frac{1}{2} \mu q b d \sin \psi \cos \psi \cos \alpha; \end{aligned} \quad (14a)$$

б) по направлению мачты:

$$V_u = \frac{W \cos \psi}{2} \cdot \frac{h}{l} = \frac{1}{2} \mu q h d \sin \psi \cos \psi; \quad (14b)$$

в) перпендикулярно к направлениям мачты и ветра:

$$\begin{aligned} T_u &= \frac{W \cos \psi}{2} \cdot \frac{b}{l} \sin \alpha = \\ &= \frac{1}{2} \mu q b d \sin \psi \cos \psi \sin \alpha; \end{aligned} \quad (14c)$$

здесь  $h$  — высота узла над анкером;  
 $b$  — горизонтальное расстояние от анкера до мачты;

$l$  — длина хорды оттяжки;  
 $W$  — сила действия ветра на оттяжку, определяемая из ф-лы (10);

$\psi$  — угол между направлением ветра и оттяжкой;

$\alpha$  — угол между направлением ветра и плоскостью, проходящей через мачту и оттяжку.

Необходимо заметить, что расчет мачт целиком по способу 1, т. е. без введения поправок  $U$ , дает некоторый запас прочности конструкции. Рассмотрим общий случай оттяжки  $AB$ , прикрепленной в точках  $B$  и  $A$  к мачте и анкеру (фиг. 3).

Если обозначить вес оттяжки через  $G$ , а силу ветра, дующего по направлению  $CD$  на оттяжку, через  $W$  (расчет по способу 1), то равнодействующая  $R$  дает по величине и направлению сумму сил, действующих на нить. Это сложение сил удобно произвести в точке  $B$ , ибо тогда  $\angle DBA = \varphi$ .

Обозначив далее  $BC = h$ ,  $AC = b$ ,  $AB = l$ ,  $\angle DCA = \alpha$  и решив пространственную задачу, найдем угол  $\varphi$  из выражения:

$$\cos \varphi = \frac{hG + bW \cos \alpha}{lR} \quad (15)$$

При пользовании этой формулой необходимо учесть, что при  $\alpha > 90^\circ$  величина  $\cos \alpha$  получает отрицательное значение.

По значению  $\cos \varphi$  из тригонометрических таблиц находится  $\sin \varphi$ , входящий в ф-лу (10). В некоторых случаях  $\sin \varphi$  определяется непосредственно:

а) если  $\alpha = 0$ , то:

$$\cos \varphi = \frac{hG + bW}{lR}; \quad (16)$$

$$\sin \varphi = \frac{hW - bG}{lR}; \quad (17)$$

б) если  $\alpha = 180^\circ$ , то:

$$\cos \varphi = \frac{hG - bW}{lR}; \quad (18)$$

$$\sin \varphi = \frac{hW + bG}{lR}. \quad (19)$$

### 3. Ход расчета мачт на оттяжках

Ввиду того что обычные деревянные бревенчатые мачты могут рассматриваться как неразрезные балки сравнительно малой жесткости, можно при расчете оттяжек пренебречь перераспределением нагрузки между узлами и исходить из предположения шарнирности узлов мачты. Это предположение дает возможность рассчитывать каждый ярус оттяжек независимо от смежных ярусов сверху и снизу.

$$f_0''' = \frac{0,25l}{\sqrt{E\omega}} \sqrt[3]{3R_3 \sin \varphi_3 + \frac{24f_0'''}{l} \left( \frac{E\omega \cdot \delta_0}{l} + \frac{E\omega \Delta h \cdot h}{l^2} - S_0 - E\omega a t \right)}; \quad (21)$$

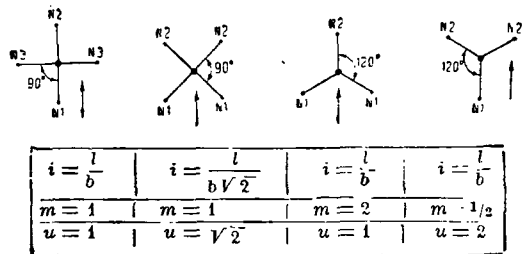
Дальнейшее уточнение расчета возможно путем учета неравности мачты и неравномерности осадок ее узлов.

После расчета оттяжек производится поверочный расчет тела мачты, фундаментов и анкеров, служащих для крепления оттяжек.

### 4. Расчет оттяжек мачты

Четырехбревенчатые мачты имеют обычно по 4 оттяжки в каждом из узлов, трехбревенчатые — по 3 оттяжки, что соответствует числу связей, минимально необходимому для обеспечения неизменяемости конструкции мачты, но менее удобно в эксплуатационном отношении ввиду несколько большей трудности выправления мачты.

Все возможные случаи расчета мачт на оттяжках сводятся к четырем основным схемам (фиг. 4).



Фиг. 4. Основные расчетные схемы

#### 1) Расчет по схеме 1

Схема 1 обычно является расчетной для промежуточных узлов мачт с четырьмя оттяжками при определении наибольшего в них усилий. При определении же усилий в оттяжках самого верхнего узла, к которому прикрепляется сеть, при неслушенной сети необходимо учесть, что направление антенны может образоваться с направлением ветра различный угол.

Нижеприводимые формулы предполагают отсутствие в узле усилия от антенны (т. е. отсутствие подвешенной к узлу сети), но аналогичные же выражения легко могут быть составлены и для случая наличия в узле усилия от антенны.

При направлении ветра, указанном на схеме 1 стрелкой, оттяжка 1 является рабочей оттяжкой, воспринимающей всю ветровую нагрузку узла, оттяжки же 2 и 3 являются нерабочими.

Вследствие растяжения самих тросов, сжатия тела мачты от действия ветра и изменения температуры основная стрела прогиба  $f_0'''$  оттяжек 3 изменяется по отношению к начальному состоянию.

Она может быть определена из ур-ния (20), в котором правая и левая части представляют разность между длинами кривой и хорды оттяжки 3 при действии ветра и температуры:

$$\frac{8}{3} \cdot \frac{(f_0''')^2}{l} = l + \delta_0 + \left( \frac{R_3 l \sin \varphi}{8f_0'''} - S_0 \right) \frac{l}{E\omega} - a t - \left( l - \Delta h \frac{h}{l} \right), \quad (20)$$

откуда:

здесь  $l = \sqrt{h^2 + b^2}$  — начальная длина хорды оттяжки;

$h$  — начальная высота узла над анкером;

$b$  — горизонтальное расстояние между анкером и основанием мачты;

$E$  — модуль упругости витого троса, принятый по опытам равным  $E = 2 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup>;

$\omega$  — площадь поперечного сечения троса;

$R_3 = \sqrt{G^2 + W_3^2}$  — равнодействующая из неса оттяжки  $G$  и давления на нее ветра  $W_3$ ;

$W_3 = \mu q d l$  — давление ветра на оттяжку 3;

$\mu = \frac{2}{3}$  — коэффициент обтекания троса ветром;

$q$  — интенсивность давления ветра на единицу площади перпендикулярной площадки;

$d$  — диаметр троса;

$\varphi_3$  — угол между равнодействующей  $R_3$  и хордой оттяжки, определяемый по ф-ле (15):

$$\cos \varphi_3 = \frac{hG}{lR_3},$$

$S_0 = \frac{Gb}{8f_0''}$  — натяжное усилие в оттяжках при

отсутствии ветра и изменения температуры;

$f_0''$  — основная стрела оттяжки тоже при отсутствии ветра и изменения температуры. Обычно принимается  $f_0'' = 0,02b$ , тогда  $S_0 = 6,25G$ ;

$\delta_0 = \frac{8(f_0''')^2}{3l}$  — разность между длиной оттяжки и длиной хорды при отсутствии ветра и изменения температуры [см. ф-лу (4)];

$\Delta h = \sum_{E_1}^{\sigma_1} a$  — упругое укорочение самого тела мачты вследствие ее сжатия под влиянием ветра;

$\sigma_1 = \frac{N}{F}$  — напряжение сжатия в любом пролете мачты, определяемое предварительными эскизными подсчетами с точностью до 70 — 75%;

$N$  — усилие в каждом пролете мачты;

$F$  — площадь поперечного сечения мачты;

$E_1$  — модуль упругости материала мачты;

$a$  — длина любого пролета мачты;

$\Sigma$  — знак суммы, распространенный на все пролеты, расположенные между рассматриваемым узлом и основанием мачты;

$\alpha$  — коэффициент линейного расширения материала оттяжек;

$t$  — одновременное с ветром понижение температуры по отношению к нормальному состоянию мачты (когда натяжное усилие равно  $S_0$ , а основная стрела равна  $f_0''$ ).

При пользовании ф-лой (21) стрелка  $f_0'''$  определяется путем последовательного приближения. Сначала определяется значение  $f_0'''$

из того же выражения (21), но сокращенного до вида:

$$f_0''' = \frac{0,25l}{\sqrt{E\omega}} \sqrt{3R_3 \sin \varphi_3} \quad (22)$$

Найденное из ф-лы (22) значение  $f_0'''$  подставляется в ф-лу (21), откуда величина  $f_0''''$  определяется уже с достаточной степенью точности. [При желании еще более уточнить результат можно еще раз повторить подстановку найденного  $f_0'''$  в ф-лу (21)].

При разнице между двумя последовательными значениями  $f_0''''$ , не превосходящей 4—5%, дальнейшее уточнение  $f_0''''$  излишне.

Натяжное усилие  $S_3$  в оттяжках 3 определяется по ф-ле (3):

$$S_3 = \frac{R_3 l \sin \varphi_3}{8f_0''''}.$$

В схеме 1 оттяжка 2, так же как и оттяжка 3, является нерабочей. Стрела провеса  $f_0''$  этой оттяжки находится в зависимости от перемещения узла, т. е. от натяжения оттяжки 1, и определяется из ур-ния (23), в котором правая и левая части выражают приращение длины хорды оттяжки 2 от действия ветра и температуры:

$$l + \delta_0 + (S_2 - S_0) \frac{l}{E\omega} - atl - \frac{8(f'')^2}{3l} - l = \\ = - \left[ l + \delta_0 + (S_1 - S_0) \frac{l}{E\omega} - atl - \frac{8(f')^2}{3l} - l \right] m - \\ - (1+m) \frac{\Delta h \cdot h}{l}, \quad (23)$$

откуда:

$$f_0'' = \sqrt{\frac{3HE\omega mi}{8E\omega} + \frac{3}{8} \delta_0 (1+m) + \frac{3}{8} h \Delta h (1+m) + (S_2 - S_0) \frac{3(m+1)l^2}{8E\omega} - m \left( \frac{R_1 l \sin \varphi_1}{8S_1} \right)^2 - \frac{3}{8} atl^2 (1+m)}. \quad (24)$$

В этом выражении величины  $S_1$  и  $S_2$  имеют значения:

$$S_2 = \frac{R_2 l \sin \varphi_2}{8f_0''}; \quad (25)$$

$$S_1 = Hi + S_2. \quad (26)$$

В выражениях (24)—(26) обозначено:

$m$  — укорочение хорды оттяжки 2 от единичного удлинения хорд оттяжек 1; значения величины  $m$  для разных расчетных схем приведены на фиг. 4;

$i$  — втяжное усилие в оттяжке 1 от горизонтальной силы  $H = 1$  в узле (от действия ветра); значения величины  $i$  для всех схем приведены на фиг. 4;

$H$  — действующая в узле горизонтальная сила, складывающаяся из:

- давления ветра на смежные пролеты мачты;
- давления ветра на все 4 оттяжки, передающиеся в узел по закону простой балки [согласно ф-ле (10)];
- из горизонтальных составляющих  $H_u$  поправочных реакций всех четырех оттяжек, опреде-

ляемых по ф-ле (14а) в том случае, если давление ветра учитывается по способу 2;

$R_1 = \sqrt{G^2 + W_1^2}$  — равнодействующая сил, действующих на оттяжку 1;

$R_2 = \sqrt{G^2 + W_2^2}$  — равнодействующая сил, действующих на оттяжку 2;

$\sin \varphi_1 = \frac{hW_1 + bG}{lR_1}$  — угол между равнодействующей и хордой оттяжки 1;

$\sin \varphi_2 = \frac{hW_2 - bG}{lR_2}$  — угол между равнодействующей и хордой оттяжки 2.

Остальные величины, входящие в выражения (24)—(26), а именно  $h, l, E, \omega, S_0, \delta_0, \Delta h, a, t$  имеют те же значения, что и в ф-ле (21).

При пользовании ф-лой (24) рекомендуется следующий порядок расчета.

Сначала по сокращенной ф-ле (27), в которой под знаком корня оставляются только три первых члена суммы, определяется  $f_0''$ :

$$f_0'' = \sqrt{\frac{3}{8} \left[ \frac{Hl^2 mi}{E\omega} + \delta_0 (1+m) + h \Delta h (1+m) \right]}. \quad (27)$$

Приближенное значение  $f_0''$  подставляется в ф-лу (25), найденное по ней значение  $S_2$  — в ф-лу (26) и наконец по ф-ле (24) находится второе значение величины  $f_0''$  — обычно с достаточной точностью.

Если разница между первым и вторым значениями  $f_0''$  превышает 3—5%, подстановки в ф-лы (25), (26), (24) можно повторить и еще более уточнить искомые величины  $S_2$  и  $S_1$ .

После того как величины натяжных усилий во всех оттяжках найдены, нетрудно определить вертикальное усилие, действующее в этом узле на мачту по формуле:

$$P = \Sigma V, \quad (28)$$

где  $\Sigma V$  — сумма вертикальных проекций действующих в узле сил  $\frac{G}{2}$  и  $S$ . Силы  $\frac{W}{2}$  из ф-лы (10) и силы  $V_u$  из ф-лы (14в) дают для схем 1 и 2 сумму вертикальных проекций, равную нулю.

**Пример 1.** Расчет узла по схеме 1

Требуется определить усилия, действующие в верхнем узле деревянной мачты (фиг. 5 и 6). Расчетные данные: отсутствие антенны; изменение температуры равно нулю; интенсивность давления ветра 250 кг/м<sup>2</sup> площади, перпендикулярной к направлению ветра.

Определим основную стрелу провеса оттяжек по ф-ле (21):

$$f_0'' = \frac{0,25l}{\sqrt{E\omega}} \sqrt{3R_2 \sin \varphi_2 + \frac{24f_0'''}{l} \left( \frac{E\omega \delta_0}{l} + \frac{E\omega \cdot \Delta h \cdot h}{l^2} - S_0 \right)};$$

$$l = \sqrt{h^2 + b^2} = \sqrt{74,5^2 + 37,5^2} = 83,4 \text{ м};$$

$$E\omega = 2 \cdot 10^7 \cdot 81,4 \cdot 10^{-6} = 1628 \text{ м};$$

$$G = 83,4 \cdot 0,00077 = 0,064 \text{ м};$$

$$W_2 = \mu q d l = \frac{2}{3} \cdot 0,250 \cdot 0,015 \cdot 83,4 = 0,208 \text{ м};$$

$$R_2 = \sqrt{G^2 + W_2^2} = \sqrt{0,064^2 + 0,208^2} = 0,218 \text{ м};$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{hG}{lR_2} = \frac{74,5 \cdot 0,064}{83,4 \cdot 0,218} = 0,262;$$

$$\sin \varphi_3 = 0,965;$$

$$S_0 = \frac{Gb}{8f_0} = 6,25 G = 6,25 \cdot 0,064 = 0,40 \text{ м};$$

$$\delta_0 = \frac{8(\varphi_0')^2}{3l} = \frac{0,0032b^2}{3l} = \frac{0,0032 \cdot 37,5^2}{3 \cdot 83,4} = 0,018 \text{ м};$$

$$\Delta h = \sum \frac{\pi_1}{E_1} \alpha = \frac{20,9 \cdot 6 + 19,4 \cdot 10 + 17,9 \cdot 13 + 16,4 \cdot 16}{100 \ 000} = 0,008 \text{ м}.$$

Сначала определяем  $f_0''$  по ф-ле (22):

$$f_0'' = \frac{0,25 \cdot 83,4}{\sqrt{1 \ 628}} \sqrt[3]{3 \cdot 0,218 \cdot 0,965} = 1,77 \sqrt[3]{0,63} = 1,52 \text{ м}.$$

Вторично определяем  $f_0''$  по ф-ле (21):

$$f_0'' = 1,77 \sqrt[3]{0,63 + \frac{24 \cdot 1,52}{83,4} \cdot \left( \frac{1 \ 628 \cdot 0,018}{83,4} + \frac{1 \ 628 \cdot 0,008 \cdot 74,5 - 0,40}{83,4^2} \right)} = 1,77 \sqrt[3]{0,63 + 0,04} = 1,55 \text{ м}.$$

Разница между обоими значениями  $f_0''$  составляет:

$$\frac{1,55 - 1,52}{1,55} = 2\%.$$

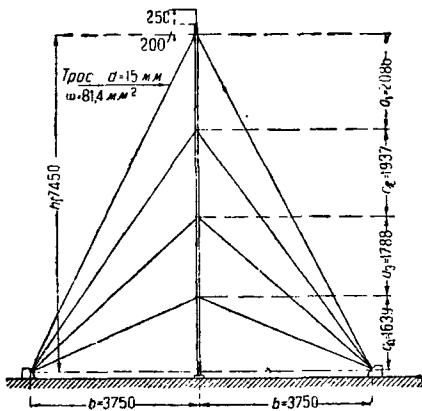
Натяжное усилие в оттяжках 3:

$$S_3 = \frac{R_3 l \sin \varphi_3}{8f_0''} = \frac{0,218 \cdot 83,4 \cdot 0,965}{8 \cdot 1,55} = 1,42 \text{ м}.$$

Основная стрела оттяжек 2 определится сначала по ф-ле (27):

$$f_0' = \sqrt{\frac{3}{8} \left[ \frac{H^2 m i}{E \omega} + l \delta_0 (m+1) + h \cdot \Delta h (m+1) \right]};$$

$$m = 1; \quad i = \frac{l}{b}.$$



Фиг. 5. Схема мачты средней высоты

Горизонтальная сила  $H$  в узле определится суммированием давления ветра:

1) на стеньгу:

$$H_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,270 + 0,325}{2} \cdot 2,5 \cdot 0,25 \times \frac{20,86 + 3,25}{20,86} = 0,14 \text{ м};$$

2) на тело мачты:

$$H_2 = \frac{2}{3} \cdot 0,617 \cdot 22,86 \cdot 0,25 \frac{11,43}{20,86} = 1,29 \text{ м};$$

3) на оттяжки:

$$H_3 = \frac{2}{3} \cdot 0,015 (74,5 \cdot 2 + 83,4 \cdot 2) \cdot 0,25 \cdot 0,5 = 0,40 \text{ м}$$

и поправочных реакций  $U$  [при учете ветра по способу 2 по ф-ле (14а)]:

$$H_4 = -2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} qbd \frac{h}{l} \cdot \frac{b}{l} = -\frac{2}{3} \cdot 0,25 \cdot 0,015 \cdot 74,5 \left( \frac{37,5}{83,4} \right)^2 = -0,04 \text{ м}.$$

Полное значение горизонтальной силы:

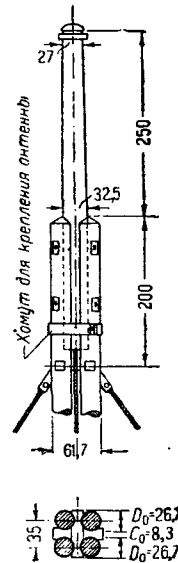
$$H = 0,14 + 1,29 + 0,40 - 0,04 = 1,79 \text{ м};$$

$$W_1 = W_2 = \frac{2}{3} \cdot 0,25 \cdot 0,015 \cdot 83,4 \cdot \frac{74,5}{83,4} = 0,186 \text{ м};$$

$$R_1 = R_2 = \sqrt{G^2 + W^2} = \sqrt{0,064^2 + 0,186^2} = 0,196 \text{ м};$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{h \cdot W_1 + bG}{lR_1} = \frac{74,5 \cdot 0,186 + 37,5 \cdot 0,064}{83,4 \cdot 0,196} = 0,995;$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{hW_2 - bG}{lR_2} = \frac{74,5 \cdot 0,186 - 37,5 \cdot 0,064}{83,4 \cdot 0,196} = 0,700;$$



Фиг. 6. Верхушка мачты

$$f_0 = \sqrt{\frac{3}{8} \left( \frac{1,79 + 83,4^3}{1 \ 628 \cdot 37,5} + 83,4 \cdot 0,018 \cdot 2 + 74,5 \cdot 0,008 \cdot 2 \right)} = \sqrt{7,95} = 2,82 \text{ м}.$$

Далее, по ф-лам (25) и (26) находим:

$$S_2 = \frac{R_2 l \sin \varphi_2}{8f_0} = \frac{0,196 \cdot 83,4 \cdot 0,700}{8 \cdot 2,82} = 0,50 \text{ м};$$

$$S_1 = Hi + S_2 = \frac{1,79 \cdot 83,4}{37,5} + 0,50 = 4,48 \text{ м}.$$

Снова определяем величину  $f_0$  по ф-ле (24):

$$f_0 = \sqrt{7,95 (0,50 - 0,40)^3 \cdot 2 \cdot 83,4^2 - \left(\frac{0,196 \cdot 83,4 \cdot 0,995}{8 \cdot 4,48}\right)^2} = \sqrt{7,95 + 0,32 - 0,29} = 2,83 \text{ м.}$$

Разница между обоими значениями  $f_0'$  составляет 0,3%.

$$S_2 = \frac{0,196 \cdot 83,4 \cdot 0,700}{8 \cdot 2,83} = 0,50 \text{ м;}$$

$$S_1 = 4,48 \text{ м.}$$

Расчетное напряжение в оттяжке I:

$$n = \frac{4 \cdot 480}{81,4} = 55 < 60 \text{ кг/мм}^2.$$

Вертикальная сила, передаваемая в узле на мачту:

$$P = 2G + (S_1 + 2S_2 + S_3) \frac{h}{l} = 2 \cdot 0,064 + (4,48 + 2 \cdot 1,42 + 0,50) \cdot \frac{74,5}{83,4} = 7,13 \text{ т.}$$

2) Расчет по схеме 2

При расчете по схеме 2 однобрусчатых мачт усилия в оттяжках получаются меньше, а усилия в теле мачты больше, чем при расчете по схеме 1. Поэтому расчет однобрусчатых мачт необходимо производить по обеим схемам.

Если коэффициенты обтекания  $\mu_1$  и  $\mu_2$  для схем 1 и 2 приняты равными, то тот же результат получается и при расчете четырехбрусчатых мачт. Опыты, производившиеся в 1927 г. над моделями четырехбрусчатых мачт в аэродинамической трубе, дали следующие результаты.

Если коэффициент обтекания однобрусчатой мачты принять равным  $\frac{2}{3}$ , то коэффициенты обтекания четырехбрусчатой мачты, сильно меняющиеся в зависимости от схемы и от отношения величины зазора  $c_0$  между брусками к диаметру бруска  $D_0$  (фиг. 6), получают следующие значения.

проектировании. Однако нужно иметь в виду следующее.

Если ветровую нагрузку на  $1 \text{ м}^2$  вертикальной проекции мачты  $\mu q$  определять по формуле  $q\mu = \gamma v^2$ , где  $v$  — скорость ветра, и применить эту формулу к модели четырехбрусчатой мачты при испытании по схеме 2 при обычном соотношении  $c_0 = 0,5D_0$ , то коэффициент  $\gamma$ , найденный из испытания, получится равным  $\gamma = 0,067$ . Применяя эту же формулу к случаю ветра наибольшей возможной (согласно наблюдениям) скорости  $v = 50 \text{ м/сек}$ , получим наибольшее возможное давление на мачту:  $\mu q = 0,067 \cdot 50^2 = 167 \text{ кг/м}^2$  вертикальной проекции мачты. Принимая во внимание, что для указанного случая  $\mu = 1,12$ , получим  $q = \frac{167}{1,12} = 150 \text{ кг/м}^2$  против обычно принимаемой расчетной интенсивности давления ветра  $q = 250 \text{ кг/м}^2$  и коэффициента обтекания для всех случаев  $\mu = \frac{2}{3}$ . Пользуясь последними цифрами, получим  $\mu \cdot q = \frac{2}{3} \cdot 250 = 167 \text{ кг/м}^2$ , т. е. то же расчетное давление на мачту, что и при испытании по схеме 2.

Эти соображения позволяют, поиндиферентно, до получения более точных данных пользоваться коэффициентами обтекания табл. 1, полагая однако расчетную интенсивность давления ветра не 250, а  $150 \text{ кг/м}^2$  но избежание чрезмерно увеличенных ветровых нагрузок на мачту<sup>1</sup>.

При расчете мачт по схеме 2 применяются те же расчетные ф-лы (24) — (27), что и для схемы 1.

Пример 2. Расчет узла из примера 1 по схеме 2

Определяем основную стрелу оттяжек по ф-ле (27):

Таблица 1

| Величина зазора . . . . . $c_0 =$                        |                             | 0    | $0,2D_0$ | $0,4D_0$ | $0,6D_0$ | $0,8D_0$ | $1,0D_0$ | $1,2D_0$ | $1,4D_0$ |
|--|-----------------------------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Коэффициент обтекания                                    | схема 1 . . . . . $\mu_1 =$ | 0,50 | 0,51     | 0,59     | 0,69     | 0,74     | 0,76     | 0,77     | 0,75     |
|  | схема 2 . . . . . $\mu_2 =$ | 1,28 | 1,16     | 1,13     | 1,11     | 1,04     | 0,91     | 0,78     | 0,69     |
| Отношение погонных нагрузок на мачту $\frac{P_2}{P_1} =$ |                             | 3,08 | 2,78     | 2,37     | 2,03     | 1,77     | 1,52     | 1,31     | 1,19     |

Нижняя строка таблицы, дающая отношение погонных ветровых нагрузок на мачту по схемам 1 и 2, показывает, что для всех обычно встречающихся четырехбрусчатых мачт при  $c_0 < D_0$  расчет по схеме 2 дает наибольшие усилия как в теле мачты, так и в оттяжках, и расчет по схеме 1 поэтому излишен. К сожалению модели мачт были выполнены в масштабе  $\frac{2}{3}$  —  $\frac{1}{3}$  натуральной величины, испытывались без прокладок между брусками при скорости воздушного потока всего лишь  $10 \text{ м/сек}$  — все это затрудняет использование результатов этих испытаний при

$$f_0 = \sqrt{\frac{3}{8} \left[ \frac{Hl^2 m^2}{E\omega} + l\delta_0 (m+1) + h \cdot \Delta h (m+1) \right]};$$

$$m = 1; \quad i = \frac{l}{\sqrt{2 \cdot b}}$$

Горизонтальная сила  $H$  в узле определится суммированием давления ветра:

<sup>1</sup> При определении ветровой нагрузки по существующим ОСТ, дающим сравнительно небольшой скоростной напор  $q_0$  (см. сноску на стр. 683), можно воспользоваться коэффициентами обтекания табл. 1.

Прим. автора.

1) на стеньгу:

$$H_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,270 + 0,325}{2} \times \\ \times 2,5 \cdot 0,25 \frac{20,86 + 2,25}{20,86} = 0,14 \text{ м};$$

2) на тело мачты:

$$H_2 = \frac{2}{3} \cdot 0,762 \cdot 22,86 \cdot 0,25 \cdot \frac{11,43}{20,86} = 1,59 \text{ м};$$

3) на оттяжки [по ф-ле (10)]:

$$H_3 = 4 \cdot 0,5 \mu q d l \sin \varphi;$$

$$\sin \varphi = \frac{\sqrt{h^2 + 0,5b^2}}{l} = \sqrt{\frac{74,5^2 + 0,5 \cdot 37,5^2}{83,4}} = 0,948;$$

$$\cos \varphi = 0,318;$$

$$H_3 = 4 \cdot 0,5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,25 \cdot 0,015 \cdot 83,4 \cdot 0,948 = 0,40 \text{ м}$$

и поправочных реакций  $U$  [при учете ветра по второму способу по выражению (14а)]:

$$H_4 = -H_3 \cos \varphi \frac{b}{lV^2} = \\ = -\frac{0,40 \cdot 0,318 \cdot 37,5}{83,4 \cdot 1,414} = -0,04 \text{ м};$$

$$H = 0,14 + 1,59 + 0,40 - 0,04 = 2,09 \text{ м};$$

$$W_1 = W_2 = \\ = \frac{2}{3} \cdot 0,25 \cdot 0,015 \cdot 83,4 \cdot 0,948 = 0,198 \text{ м};$$

$$R_1 = R_2 = \\ = \sqrt{G^2 + W^2} = \sqrt{0,64^2 + 0,198^2} = 0,208 \text{ м};$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{hG + bW_1 \cos \alpha_1}{lR_1} = \\ = \frac{74,5 \cdot 0,064 - 37,5 \cdot 0,198 \cdot 0,707}{83,4 \cdot 0,208} = -0,028;$$

$$\sin \varphi_1 = 0,9996;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{hG + bW_2 \cos \alpha_2}{lR_2} = \\ = \frac{74,5 \cdot 0,064 + 37,5 \cdot 0,198 \cdot 0,707}{83,4 \cdot 0,208} = 0,575;$$

$$\sin \varphi_2 = 0,817;$$

$$f_0'' =$$

$$= \sqrt{\frac{3}{8} \left[ \frac{2,09 \cdot 83,4^2}{1,628 \cdot 1,414 \cdot 37,5} + 83,4 \cdot 0,018 \cdot 2 + 74,5 \cdot 0,008 \cdot 2 \right]} = \\ = \sqrt{6,82} = 2,61 \text{ м}.$$

По ф-лам (25) и (26) находим:

$$S_2 = \frac{R_2 l \sin \varphi_2}{8f_0''} = \frac{0,208 \cdot 83,4 \cdot 0,817}{8 \cdot 2,61} = 0,68 \text{ м};$$

$$S_1 = Hi + S_2 = \frac{2,09 \cdot 83,4}{1,414 \cdot 37,5} + 0,68 = 3,98 \text{ м}.$$

Снова определяем  $f_0''$  по ф-ле (24):

$$f_0'' = \sqrt{6,82 + (0,68 - 0,40) \frac{3 \cdot 2 \cdot 83,4^2}{8 \cdot 1,628} - \left( \frac{0,208 \cdot 83,4 \cdot 1,00}{8 \cdot 3,98} \right)^2} = \\ = \sqrt{6,82 + 0,34 - 0,44} = 2,59 \text{ м}.$$

Разница между обоими значениями  $f_0''$  составляет 0,8%.

Вертикальная сила, передаваемая оттяжками на мачту в узле:

$$P = 2G + (2S_1 + 2S_2) \frac{h}{l} = 2 \cdot 0,064 + \\ + (0,68 + 3,98) 2 \cdot \frac{74,5}{83,4} = 8,47 > 7,13 \text{ м}.$$

### 3) Расчет по схемам 3 и 4

Расчет узлов на трех оттяжках по схемам 3 и 4 не отличается от расчета узлов по схеме 2 и производится по тем же ф-лам (21)—(27). Разница заключается только в том, что при учете ветра по второму способу добавочные реакции по ф-ле (14) для схем 3 и 4 дают сумму вертикальных проекций, отличную от нуля, что можно учесть при определении силы  $\bar{V}$  по ф-ле (28). Впрочем ввиду незначительности этой добавочной силы при пользовании ф-лой (28) ею можно пренебречь.

При выборе между схемами 3 и 4 необходимо учесть, что при одинаковом в обоих случаях коэффициенте обтекания  $\mu$  расчет по схеме 3 дает наибольшие усилия в теле мачты, а по схеме 4 — в оттяжках. Это приводит к необходимости расчета трехбрусчатых мачт по обоим схемам. Опытных коэффициентов обтекания для трехбрусчатых мачт пока не имеется.

### 5. Расчет конструкции тела мачты

Найденные из выражения (28) узловые усилия в каждом из узлов мачты, а также веса отдельных пролетов мачты дают возможность определить продольные усилия во всех пролетах по формуле:

$$N = \Sigma P + \Sigma K, \quad (29)$$

где  $\Sigma P$  — сумма вертикальных узловых усилий от оттяжек вышележащих узлов, определяемая по ф-ле (28);

$\Sigma K$  — вес вышележащей части мачты.

Кроме продольных усилий тело мачты испытывает изгиб от действия ветровой нагрузки и работает как неразрезная балка на опорах, имеющих неодинаковую осадку. Обычно расчет брусчатых мачт на изгиб производится в предположении, что узлы неподвижны, а расчетный изгибающий момент в середине пролетов мачты:

$$M = \frac{pa^2}{10}, \quad (30)$$

где  $p = \mu q D$  — погонная ветровая нагрузка на тело мачты;

$\mu$  — коэффициент обтекания;

$q$  — интенсивность давления ветра;

$D$  — полный диаметр мачты;

$a$  — длина пролета.

Расчетное напряжение в теле мачты проверяется по обычной формуле:

$$n = \frac{N}{\varphi F} \pm \frac{M}{W}, \quad (31)$$

где  $\varphi$  — коэффициент продольного изгиба;

$F$  — площадь поперечного сечения мачты;

$W$  — момент сопротивления сечения мачты.

Хотя изгибающие моменты в узлах мачты могут превысить значения, полученные по ф-ле (30),

однако расчетные напряжения обычно получаются меньше, так как при проверке суммарного напряжения в узлах можно не вводить в знаменатель ф-лы (31) коэффициента продольного изгиба  $\varphi$ .

Для более точного расчета тела мачты можно рекомендовать следующий метод решения с последовательным приближением.

Прежде всего нужно найти эпюру моментов в теле мачты от ветровой нагрузки как в неразрезной балке на жестких опорах<sup>1</sup>. Эту эпюру нужно сложить с эпюрой моментов от неравномерной осадки опор. Для нахождения последней определяют горизонтальные прогибы всех узлов шарнирной схемы по формуле:

$$y = \frac{u \cdot l}{b} \left[ \frac{3 (f_0')^2}{8l} - \delta_0 - \frac{(S_2 - S_0) l}{E\omega} - \frac{\Delta h \cdot h}{l} + atl \right]. \quad (32)$$

В этой формуле все величины имеют те же значения, что и в ф-ле (24), новая величина — коэффициент  $u$  — дана на схемах (фиг. 4). Ввиду значительной величины прогибов  $y$  в дальнейшем расчете выгоднее неравномерность осадок  $z$  отсчитывать от прямой  $A_1B$ , как это показано на фиг. 7, причем:

$$z_n = y_1 \frac{h_n}{h_1} - y_n. \quad (33)$$

По найденным величинам осадок  $z_n$  нетрудно найти эпюру изгибающих моментов, возникающих в результате этих осадок.

Действительная эпюра моментов в теле мачты получится сложением обеих полученных эпюр.

Дальнейшее уточнение расчета может быть достигнуто вторичным пересчетом всей мачты, причем найденная суммарная эпюра моментов должна быть использована при

определении узловых ветровых нагрузок  $H$ , входящих в формулы (24)–(26).

Горизонтальные силы  $H$  давления ветра в узлах мачты найдутся как опорные реакции неразрезной балки по формуле:

$$H = \frac{P}{2} (a_{n-1} + a_n) - \frac{M_n - M_{n-1}}{a_{n-1}} - \frac{M_n - M_{n+1}}{a_n}, \quad (34)$$

где  $M_{n-1}$ ,  $M_n$ ,  $M_{n+1}$  — величины опорных моментов со своими знаками. После определения сил  $H$  весь расчет оттяжек и тела мачты производится вторично по тем же формулам (24)–(29) и (32)–(34), что и выше.

Расчет связей между бревнами. Ввиду того что мачта представляет собою шпуночную балку, сняв между отдельными бревнами должны рассчитываться как связи между элементами шпуночной балки, испытывающей одновременное действие изгиба и сжатия. Согласно ТУ и Н 1931 г. шпонки между отдельными элементами таких балок должны рассчитываться за суммарную сдвигающую силу от изгиба и сжатия (т. е. от изгиба поперечного и продольного). Однако в практике проектирования деревянных радиомачт этот вопрос решался несколько иначе, чем он трактуется в ТУ и Н.

1. При расчете связей мачт учитывалась только поперечная нагрузка на мачту, т. е. считалось, что при наличии сильных связей, поставленных из расчета на поперечную ветровую нагрузку,

никаких добавочных связей по расчету на продольный изгиб не требуется.

2. Сами шпуночные сняв рассчитывались не на смятие во врубках или изгиб болтов, а исключительно на силы трения, возникающие вследствие натяжения болтов. Этот метод расчета «на трение» основан на том, что на плотное соприкосновение шпонок во врубках вследствие неточностей при сборке и неизбежной усушки самих шпонок (шириной до 400 мм поперек волокон) надеяться нельзя.

В то же время работа мачты на знакопеременную ветровую нагрузку требует полной плотности в связях, без которой невозможна устойчивость продольной оси мачты и неизбежны чрезвычайно опасные эксцентриситеты и выпучивания. При правильном уходе за мачтой натяжение болтов, предусмотренное расчетом «на трение», обеспечивает полную надежность работы связей, в случае же недостаточного ухода за мачтой при значительном ослаблении натяжения болтов работа их как изгибаемых нагелей не сможет обеспечить устойчивости конструкции, несмотря на то, что расчет соединения как чисто нагельного дает обычно благоприятный результат. Объясняется это тем, что обычным образом исполненные нагельные соединения на болтовых нагелях сильно деформируются и далеко не обладают необходимой для мачт жесткостью.

Расчет болтов «на трение» производится по формуле:

$$B = \frac{QSek}{I\tau}, \quad (35)$$

где  $B$  — требуемое усилие затяжки каждого болта;  $Q = 0,5 \mu Daq$  — поперечная сила в узле мачты от ветровой нагрузки;

$S$  — статический момент полонины поперечного сечения мачты;

$e$  — расстояние между прокладками (панель мачты);

$k$  — коэффициент запаса на сдвиг (обычно принимают  $k = 1,5$ );

$I$  — момент инерции сечения мачты;

$\tau$  — коэффициент трения (обычно принимают  $\tau = 0,3$ );

$n$  — число болтов в каждой из прокладок.

Если расчет натяжных болтов вести не только на сдвиг от ветровой нагрузки, но и на сдвиг от продольного изгиба согласно ТУ и Н, то вместо ф-лы (35) нужно необходимое натяжение болтов определять по ф-ле (36):

$$B = \frac{QSek}{I\tau n} + \frac{4T_0^{a/2} \cdot ek}{a\tau n}, \quad (36)$$

здесь  $T_0^{a/2}$  — сдвигающая сила на половине пролета мачты (по § 27 ТУ и Н);

$a$  — длина пролета мачты.

Остальные обозначения те же, что и в ф-ле (35).

### Пример 3. Расчет болтового соединения

Для одного из пролетов мачты высотой 150 м с поперечным сечением согласно фиг. 8 требуется рассчитать болтовое соединение.

По ф-ле (35) находим:

$$Q = 0,5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,79 \cdot 20,0 \cdot 0,25 = 1,32 \text{ т};$$

$$S = 33\,000 \text{ см}^3; \quad I = 1\,788\,000 \text{ см}^4; \quad e = 140 \text{ см};$$

<sup>1</sup> См. т. II справочника.



$$k = 1,5; \tau = 0,3; n = 4;$$

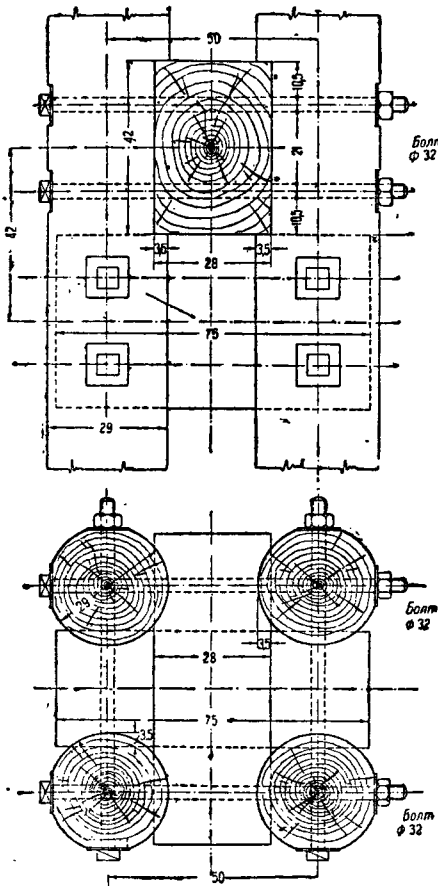
$$B = \frac{1,32 \cdot 32\,000 \cdot 140 \cdot 1,5}{1\,788\,000 \cdot 0,3 \cdot 4} = 4,28 \text{ м.}$$

Для создания натяжения  $B = 4,28 \text{ м}$  необходимо поставить болты диаметром не менее  $1\frac{1}{8}''$ . Если предположить, что поставленные болты диаметром  $1\frac{1}{4}''$  работают как нагели, то максимальная сдвигающая сила, воспринимаемая каждым из них:

$$T_1 = 0,5 \cdot 3,18^2 \sqrt{1\,400 \cdot 45} = 1\,270 \text{ кг,}$$

что составит от расчетной сдвигающей силы:

$$\frac{T_1 \cdot k}{\tau \cdot B} 100 = \frac{1,27 \cdot 1,5}{0,3 \cdot 4,28} 100 = 148\%.$$



Фиг. 8. Тип прокладок и их крепление к мачте

Если же вести расчет по ф-ле (36), то для того же случая:

$$T_0^{a/2} = 1,03 \frac{33\,000}{39,5} \cdot \frac{110}{100} \left( \frac{1}{0,50} - 1 \right) \frac{24,0}{2\,290} = 9,9 \text{ м;}$$

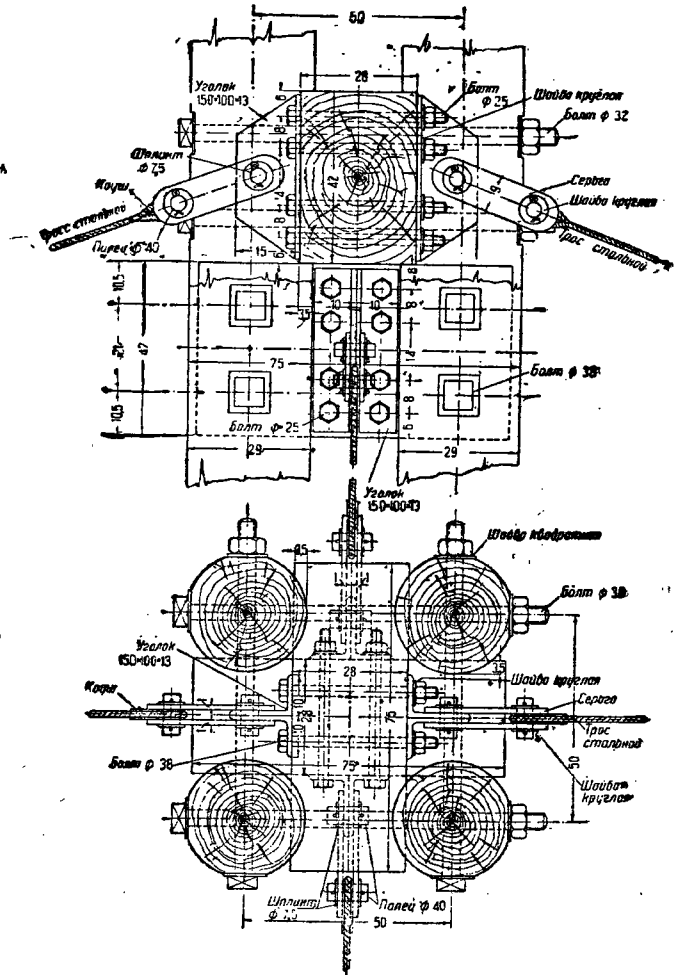
$$B = 4,28 + \frac{4 \cdot 9,9 \cdot 140 \cdot 1,5}{2\,240 \cdot 0,3 \cdot 4} = 7,37 \text{ м.}$$

Для получения такого натяжения в болты пришлось бы поставить болты диаметром минимум  $1\frac{3}{8}''$ .

Необходимо отметить, что вышеизложенный расчет затяжки болтов относится к прокладкам, расположенным возле узлов мачты. В остальных прокладках сдвигающие усилия будут уменьшаться по направлению к середине пролета  $a$ . Однако требование жесткости мачты не позволяет рассчитывать болты на среднюю сдвигающую силу.

### 6. Крепление оттяжек к мачте и анкеру

Один из возможных способов крепления оттяжек к мачте показан на фиг. 9. Конец троса заплетается в виде петли специальной оплеткой



Фиг. 9. Тип крепления оттяжек к мачте

вокруг так называемого «ноуша» — грушевидного вкладыша из стали, передающего нагрузку от троса на стальной «палец» (фиг. 10 и 11).

Болты, прикрепляющие уголки к прокладкам и самые прокладки к мачте, могут быть рассчитаны как болтовые нагели с учетом или же без учета трения, развиваемого этими болтами, в зависимости от предполагаемых условий эксплуатации мачты.

Болты, скрепляющие прокладки с мачтой, рассчитываются как нагели надвигающую силу, возникающую вследствие натяжения пары оттяжек, и на крутящий момент от этих же натяжений. Если обозначить вертикальные составляющие усилий в оттяжках через  $V_1$  и  $V_2$ , то для узла по фиг. 9 расчетное усилие на каждый из срезов болта выразится величиной:

$$T = \frac{V_1 + V_2}{8} + \frac{(V_1 - V_2)(100 + 140)}{280 \cdot 4} = 0,34V_1 + 0,09V_2.$$

При

$$V_1 = 5,0 \text{ т} \text{ и } V_2 = 1,0 \text{ т}$$

имеем:

$$T = 1,79 \text{ т}.$$

При болтах  $d = 1\frac{1}{2}''$  допускаемое усилие на один срез:

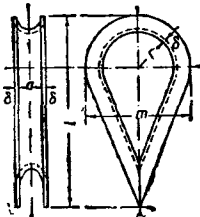
$$T_{\text{доп}} = 0,5 \cdot 3,8^2 \sqrt{1400 \cdot 45} = 4,80 \text{ т}.$$

Если же рассчитывать на трение при полной затяжке болта, то коэффициент запаса на сдвиг прокладки:

$$k = \frac{9,23 \cdot 0,3}{1,79} = 1,55.$$

Другой тип крепления оттяжек, примененный в мачте высотой 75 м, представлен на фиг. 12.

Крепление оттяжек к анкеру для возможности регулировки натяжения в достаточно широких пределах производится иначе, чем к мачте.

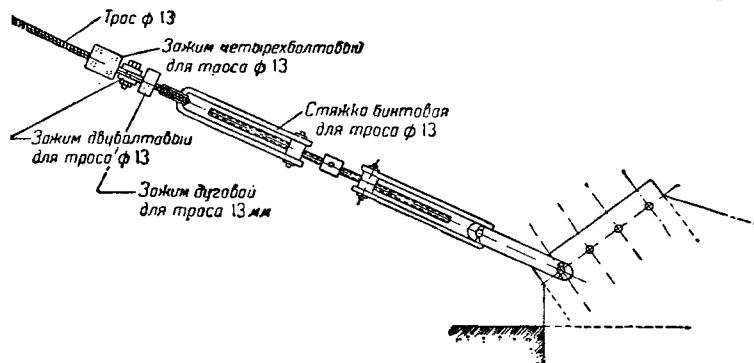


Фиг. 10. Типовые коуши



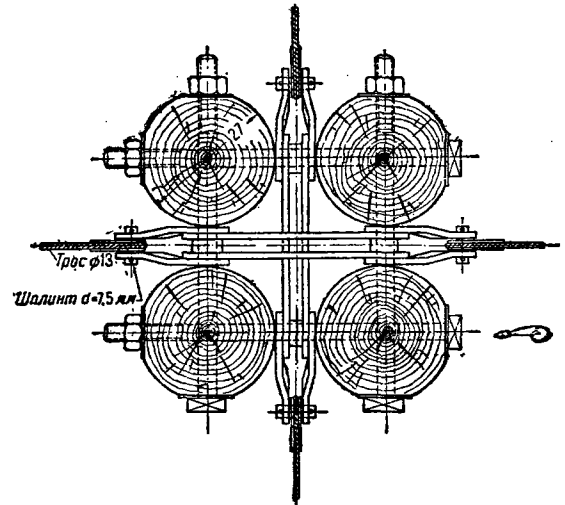
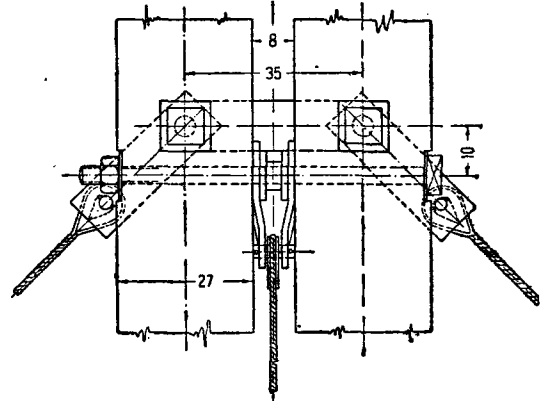
Фиг. 11. Оплетка коуша

На фиг. 13 показано типовое крепление к анкеру. Конец оттяжки, обернутый вокруг коуша, не расплетается, а стягивается с оттяжкой специальными болтовыми зажимами, изображенными отдельно на фиг. 14. Дуговой зажим располагается подле коуша, чтобы обеспечить плавный перегиб троса, количество зажимов



Фиг. 13. Крепление оттяжек к анкеру

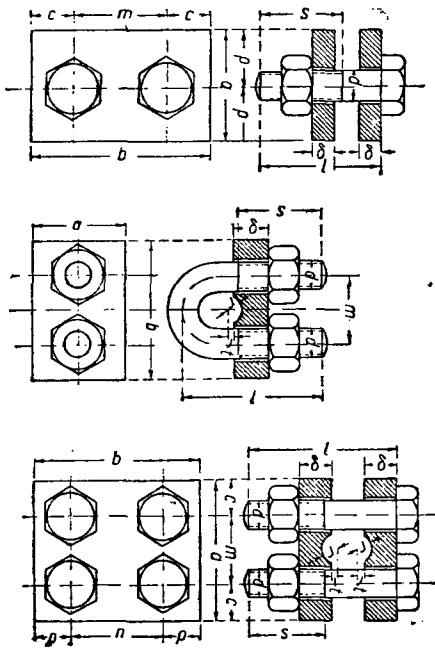
определяется из расчета восприятия трением полного усилия в оттяжке. Коэффициент трения принимается обычно равным 0,1 (возможность попадания смазки), а коэффициент запаса на сдвиг — не менее 5,0.



Фиг. 12. Тип крепления оттяжек к мачте

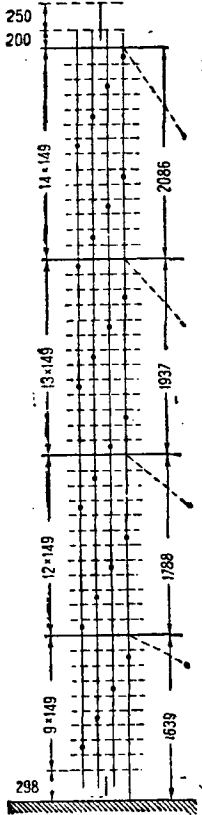
## 7. Разбивка мачты на пролеты и размещение анкером

Ввиду того что оттяжки обычно крепятся к прокладкам, то и длины пролетов  $a$  являются кратными панели  $e$ , т. е. кратными расстоянию

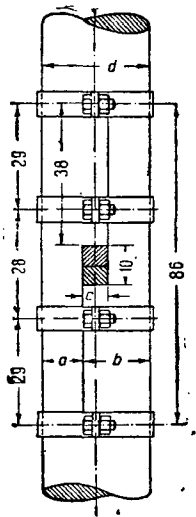


Фиг. 14. Типовые скрепы

между прокладками, какové сохраняется постоянным по всей высоте мачты. Так, в мачте на фиг. 15 расстояние между прокладками (панель мачты) равно везде 1,49 м. Длины пролетов *a*, начиная сверху, равны соответственно 14, 13, 12 и 11 панелям. Следует иметь в виду, что с точки зрения статического расчета тела мачты было бы более правильным считать расчетные длины пролетов *a* не между точками прикрепления оття-



Фиг. 15. Разбивка мачты высотой 150 м



Фиг. 16. Тип стыка бревен

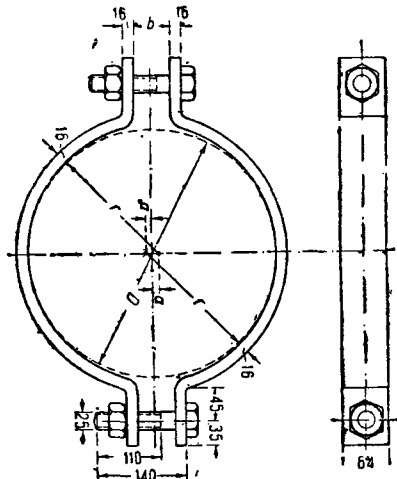
жек к мачте, а между точками пересечения оттяжек с осью мачты.

Стыки бревен мачты располагаются по винтовой линии (фиг. 15). Длины всех бревен кроме четырех верхних и четырех нижних одинаковы. В мачте по фиг. 15 основная длина бревен равна  $8 \cdot 1,49 + 0,88 = 12,8$  м.

В мачтах большой высоты длина бревен доходит до 15 м при диаметрах до 33 см. Само собой разумеется, что бревна такого размера могут быть получены только по специальному заказу.

Раньше бревна стыковались косым зубом, однако ввиду нерациональности такого сопряжения в последнее время получил применение стык с прямым зубом (фиг. 16).

При изготовлении этого стыка следует добиваться одновременного соприкосновения обеих торцовых поверхностей стыкуемых бревен. Клинья в замке должны быть небольшой высоты и из сухого материала. Высота клиньев 10 см, дан-



Фиг. 17. Типовые бугеля

ная на фиг. 16, чрезмерно велика; можно было бы ограничиться высотой 2—3 см, изготовив парные клинья из дощечек толщиной 1,5—2,0 см. Эти клинья, с одной стороны, необходимы для сплачивания бревен при сборке мачты, с другой стороны, служат для восприятия возможных растягивающих усилий в бревне в случае, если болты, стягивающие стыковые бугеля, будут недостаточно затянуты.

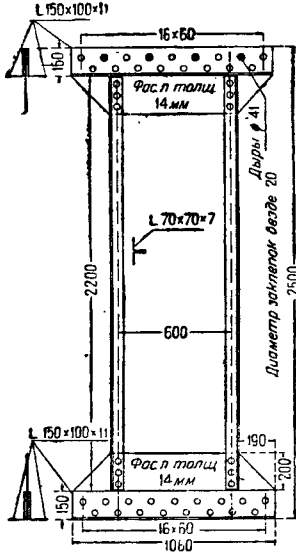
На фиг. 17 изображен бугель, обычно применяемый в мачтостроении. Количество бугелей в стыке определяется, как обычно, из расчета на трение. Растягивающая бревно сила определяется для нижнего узла верхнего пролета мачты по формуле:

$$N' = \frac{M}{2(C_0 + D_0)} - \frac{N}{4}. \quad (37)$$

Обозначения те же, что на фиг. 6 и в ф-ле (31). Вместо бугелей в стыке можно применять болтовые или нагельные соединения. Следует иметь в виду, что для возможности сборки стыка на болтах вертикальная плоскость стыка бревен должна проходить через ось мачты или во всяком случае приближаться к такому положению.



плюс трение по подошве) с вертикальной силой сопротивления выдергиванию (вес земли плюс вес самого анкера). При соблюдении этого условия анкер получается наиболее экономичным и отпадает необходимость его проверки на опрокидывание. В остальном проверка устойчивости железобетонного анкера делается так же, как и массивного.

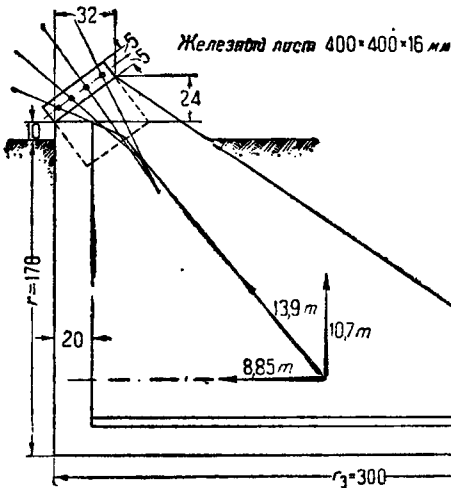


Фиг. 19. Детали рамы (к фиг. 18)

Отпор земли  $Z$  у лобовой стенки, имеющей примерно треугольную форму, определяется по формуле:

$$Z = \frac{2}{3} \Delta \cdot g \cdot r_1 \times \left[ \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\beta}{2} \right) - \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\beta}{2} \right) \right], \quad (40)$$

где  $\Delta$  — площадь грани лобовой стенки;  
 $g$  — удельный вес грунта;  
 $r_1$  — глубина загрузения анкера (расстояние от поверхности земли до низа анкера);  
 $\beta$  — угол естественного откоса грунта.



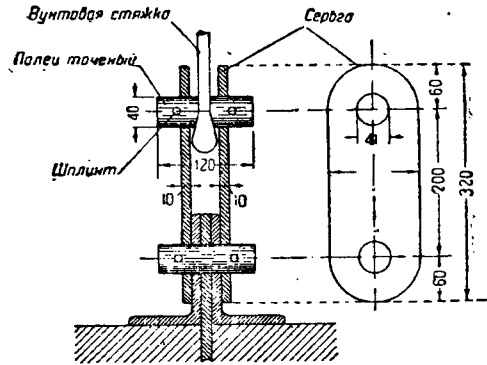
Фиг. 21а. Железобетонный анкер мачты высотой 75 м (фиг. 21б)

Равнодействующую  $Z$  сил отпора у передней грани анкера треугольной формы можно считать приложенной на высоте  $0,25r_1$  от низа анкера.

Проверка на сдвиг производится по формуле:

$$\frac{0,3(A - Y) + Z}{X} \geq 1,5, \quad (41)$$

где  $A$  — вес анкера вместе с весом лежащей на нем земли, остальные обозначения те же, что и в Ф-ле (38).



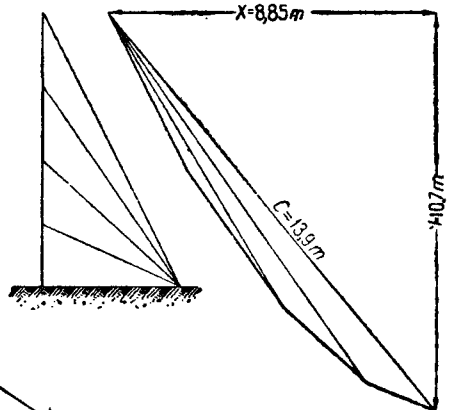
Фиг. 20. Крепление винтовых стяжек к анкеру (к фиг. 18)

Проверка на выдергивание анкера производится по формуле:

$$\frac{A}{Y} \geq 1,5. \quad (40)$$

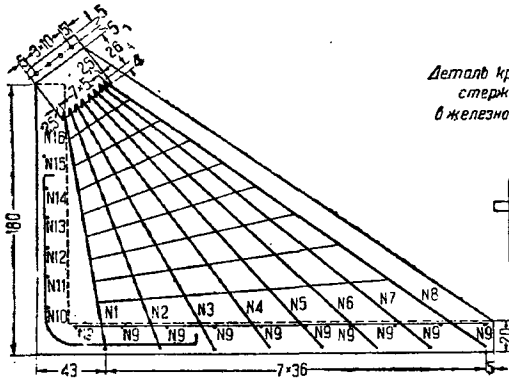
Горизонтальная плита и лобовая стенка рассчитываются как обычные железобетонные плиты с одиночной арматурой. Расчетной нагрузкой для лобовой стенки является отпор земли  $Z$ , а для горизонтальной плиты — вес самой плиты и грунта, на ней расположенного (при выдергивании анкера).

Прикрепление винтовых стяжек к железобетонному анкеру изображено на фиг. 22. Указанные здесь хомуты нужны для укрепления выступающего из земли ребра анкера.

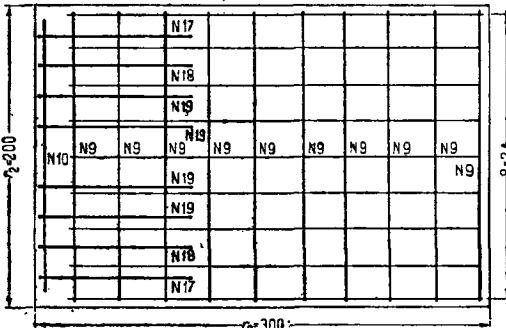
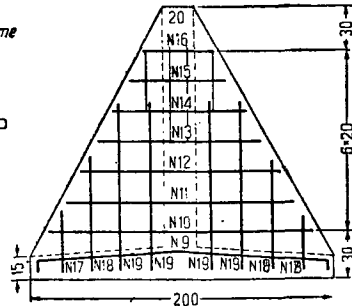


### 9. Фундаменты мачт

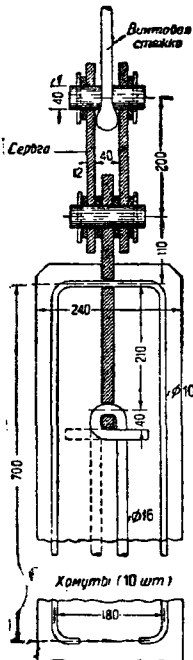
Обычный тип бетонного фундамента представлен на фиг. 23 (для 75-м мачты).



Деталь крепления стержней в железной плите



Фиг. 216. Железобетонный анкер мачты высотой 75 м (к фиг. 21а)



Фиг. 22. Крепление винтовых стяжек (к фиг. 21)

При установке мачты швеллера, передающие нагрузку на фундамент, соединяются на земле вместе с нижним кустом бревен мачты, затем эта часть мачты поднимается при помощи «стрель» и устанавливается в станок, оставленный в фундаменте при его бетонировании (пунктир на фиг. 23), после чего станок тщательно заполняется бетоном.

Иногда для удобства сборки низ мачты конструируется с сердечником (фиг. 24). В этом случае фундамент бетонируется вместе с парой швеллеров большого профиля. Низ мачты соединяется со швеллерами железной осью диаметром 40 мм, вокруг которой вращается нижний куст мачты при его подъеме. После этого ставится на место на болтиках горизонтальный швеллер (фиг. 24), и пространство под пятой мачты заливается цементным раствором.

Болты, соединяющие низ мачты со швеллерами (фиг. 23) или с сердечником (фиг. 24), рассчитываются как нагели.

Необходимая площадь подошвы фундамента определяется по допускаемому давлению на грунт в предположении равномерного распределения нагрузки по подошве.

При наличии грунтов, опасных в отношении вспучивания, желательно опускать подошву фундамента ниже уровня промерзания грунта.

### 10. Сборка и подъемка мачт

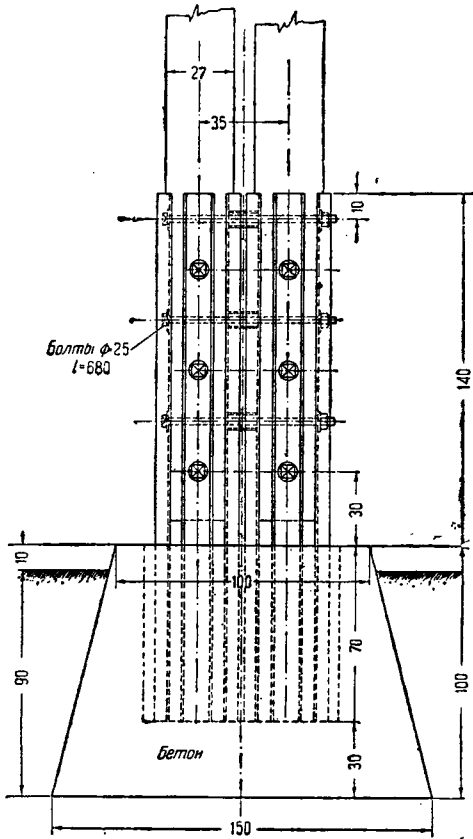
Предварительно производится полная сборка всей мачты на земле (на подкладках) из тщательно обтесанных и остроганных согласно проекту сосновых бревен. После этого целиком собранный вместе с фундаментными болтами нижний куст мачты, состоящий из 5—6 бревен, поднимается при помощи «стрель».

Стрела делается из семивершкового бревна длиной до 10 м, рубленного шипом в виде буквы Т в горизонтальное бревно в 2—3 раза меньшей длины. Концы этих бревен взаимно связываются в треугольную систему канатом или тросом.

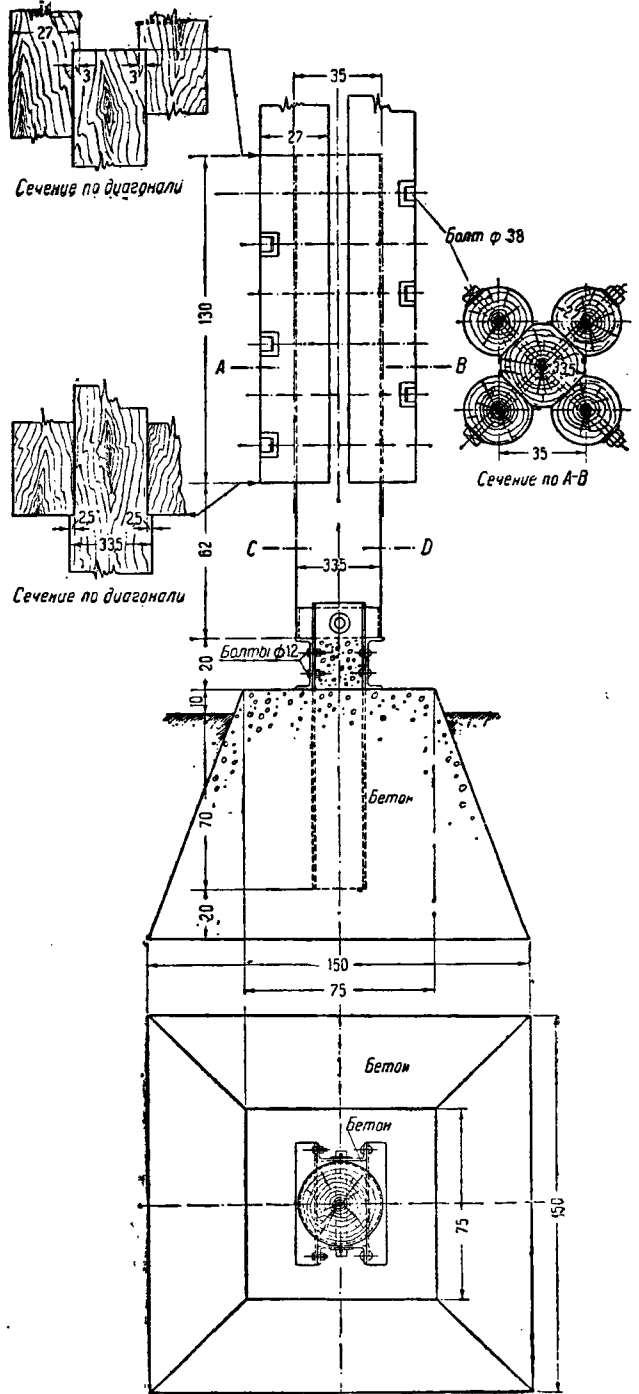
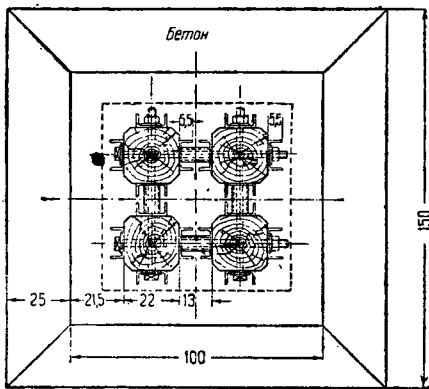
На фиг. 25 показана подъемка нижнего куста четырехбрусчатой мачты. Основание мачты при подъемке упирается в концы швеллеров, поставленных стоймя в станок фундамента. Верхушка куста раскалывается к двум боковым анкерам 1 и 3, третья расчалка (к анкеру 2) постепенно вытравливается по мере подъема куста, за чем особенно важно следить при положении мачты, близком к вертикальному, когда возникает опасность падения поднятого куста в направлении лебедки.

Так же поднимаются стрелой целиком собранные однобрусчатые мачты, причем каждый из узлов мачты должен расчлениваться оттяжками. При подъеме такой мачты особенно важно организовать равномерное выстраивание каждой из оттяжек, идущих к анкеру 2 (фиг. 25).

ких бревен поднимаются прикрепленные уже блоки (фиг. 26) с перекинутыми через них тросями (фиг. 27), служащими для подъема бревен



Фиг. 23. Фундамент мачты



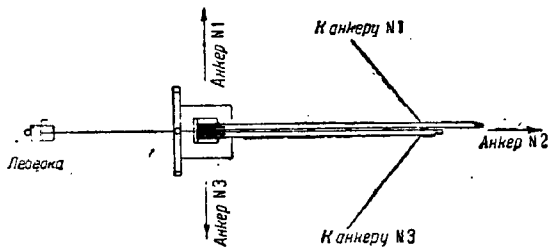
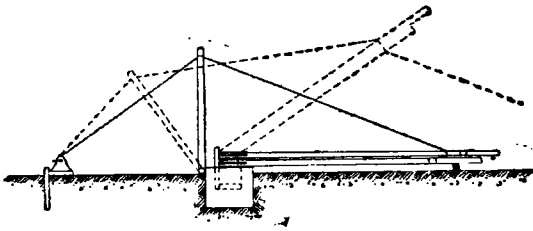
Сечение по С-Д

Фиг. 24. Тип фундамента мачты

При подъеме первого куста трех- или четырехбрусчатой мачты на концах двух более высо-

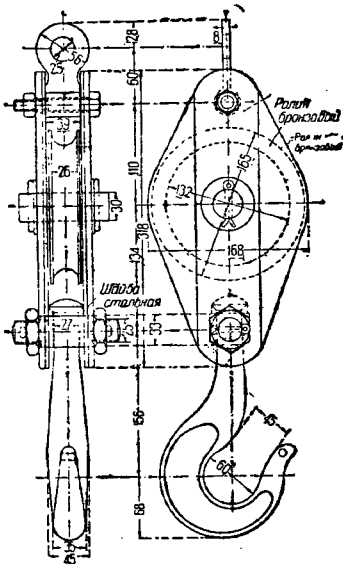
вен и мачтовика. Обычный диаметр такого подъемного троса 8—10 мм.

После закрепления куста оттяжками и выверки его положения приступают к дальнейшей сборке. Лебедка 2 поднимает люльку с матчовиком, лебедка 1 — очередное бревно, захваченное «удавной» подъемного троса несколько выше его середины. При подъеме бревна его



Фиг. 25. Схема подъема первого куста мачты

положение регулируется снизу поднимаемым вместе с бревном тросом, а также веревкой, специально привязанной для этой цели к нижнему его концу, что облегчает матчовику установку бревна на место.



Фиг. 26. Тип подъемного блока

Согласно схеме на фиг. 27 при подъеме нового бревна в зоне I уже поставлены на место все прокладки и болты, в зоне II поставлены все прокладки и половина всего числа болтов. После установки очередного бревна на бревне D ставятся на место недостающие болты в зоне II,

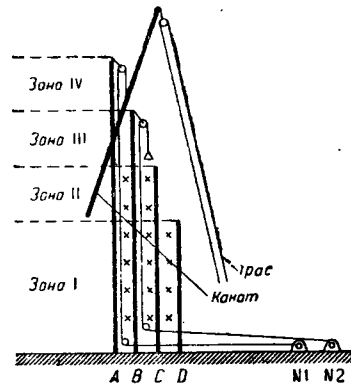
затем все прокладки и половина числа болтов в зоне III. После этого матчовик отвязывает трос от вновь установленного бревна, спускается вниз и переходит на люльку, привязываемую к концу троса, перекинутого через блок бревна А.

Затем поднимается следующее бревно, причем вся операция повторяется в том же порядке вновь и т. д.

Иногда сборку производят два верхолаза. При этом необходимо иметь три лебедки и четыре подъемных троса.

Когда мачта поднимется над уровнем оттяжек на высоту до 10 м, необходимо ее верхушку раскрепить хотя бы временными оттяжками, иначе трудно рассчитывать на соблюдение строгой прямолинейности оси мачты.

Иногда при сборке наиболее высоких и мощных мачт вместо примитивных люлек употребля-



Фиг. 27. Схема подъема бревен мачты

ются целые передвижные площадки размером до 3,5 × 3,5 м, поднимаемые по мере сборки мачты и позволяющие двум-трем верхолазам производить работу с большими удобствами и большей тщательностью.

### 11. Уход за мачтами

Деревянные кустовые мачты требуют за собой весьма тщательного ухода, особенно в первое время после возведения. В первое время необходимо не реже одного раза в месяц подтягивать все поставленные болты. Несоблюдение этого правила, как показывает опыт, неизбежно приводит к значительным искривлениям мачты, чрезвычайно трудно устранимым или же совершенно неустраняемым впоследствии.

Не менее важно проверять периодически вертикальность и прямолинейность мачты с помощью теодолита, а также правильность стрелы провеса оттяжек.

Если потребовать соблюдения расчетного условия  $f_0 = 0,02b$ , то будем иметь (фиг. 4):

$$BG = 4f = 0,08l. \quad (43)$$

Необходимо, пользуясь ф-лой (43), нанести на мачте при ее сборке белой краской положение точек G, после чего правильность натяжения очень удобно может быть проверена визирной трубой, накладываемой на оттяжки у анкеров мачты и дающей направление касательной AG.



Далее, необходимо проверять и, если нужно, подтягивать болты у зажимов оттяжек и следить за целостностью тросов и исправностью лебедок, служащих для подъема мачтовика.

Для обеспечения нормального срока службы мачты до сего времени обычно применялось покрытие ее при изготовлении и после установки на 2—3 раза горячей олифой, реже — окраска масляной краской. В настоящее время кроме

олифы можно рекомендовать применение антисептиков последующего действия, вводимых при сборке в места сопряжения бревен мачты с прокладками и с опорными частями, а также во все болтовые отверстия и трещины в древесине. Нужно думать, что применение антисептиков последующего действия позволит удвоить нормальный десятилетний срок службы деревянных мачт.

*Инж. И. Я. ИВАНИН*

## IX. СЖАТЫЕ ПУСТОТЕЛЫЕ СТЕРЖНИ

### 1. Общие сведения

Наиболее рациональной конструкцией элемента, работающего преимущественно на осевое сжатие, является пустотелый стержень составного сечения в виде квадрата, треугольника или разреженного кольца (фиг. 1), обшитый фанерой. Такой стержень обладает большим моментом инерции при минимальной площади рабочего сечения; удаленные от нейтральной оси отдельные стойки обеспечивают большую устойчивость его, а сплошная фанерная обшивка устраняет местный продольный изгиб, неизбежный в сивовых стержневых конструкциях. При работе пустотелого стержня в незащищенных условиях фанерная обшивка<sup>1</sup> помимо того используется для защиты рабочих элементов от увлажнения атмосферной и производственной влагой.

Деревянные пустотелые стержни в зависимости от их масштаба и назначения могут иметь прямолинейное, ломаное или криволинейное продольное очертание. Такие элементы при одинаковых расчетных давних получают почти в два раза легче металлических сжатых стержней, выполненных в виде ажурной решетчатой конструкции. Поэтому есть все основания ожидать в дальнейшем широкого их применения в самых различных областях строительства. Наиболее характерными областями рационального применения пустотелых стержней являются:

- 1) стрелы и мачты деррик-кранов (преобладает нормальная сжимающая сила);
- 2) ноги парашютных, триангуляционных и тому подобных вышек (преобладает поперечный изгиб);
- 3) причальные и другие башни (совместное действие нормального сжатия и поперечного изгиба).

Кроме того легкие пустотелые стержни могут быть использованы в опорах подвесных дорог и висячих временных мостов, в ангарах и в ряде других сборно-разборных сооружений облегченного типа.

### 2. Примеры конструкций

#### 1) Деревянные деррик-краны

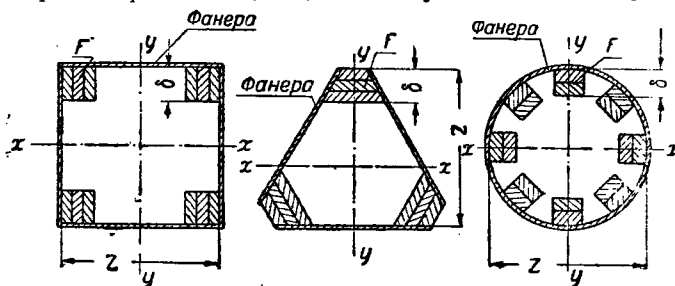
Существующие деррик-краны бывают как металлические, так и деревянные; последние имеют ряд существенных преимуществ.

<sup>1</sup> В будущем предполагается использование для этой цели водоупорной негниющей строительной фанеры; при казеиновой или альбуминовой фанере необходимо применение водоупорных лаков или покрасок.

Помимо большой приспособленности к различным видам строительных работ они весьма экономичны, так как требуют для изготовления мало материала, труда и времени.

Применяемые в строительной практике деревянные деррик-краны, стрела и мачта которых выполнены из бревен (фиг. 2), имеют обычно небольшой вылет стрелы и сравнительно малую грузоподъемность. Стрелы с вылетом более 18 м до сих пор выполняются, как правило, из металла, сплошной — фасонной или составной — решетчатой конструкции.

Практика монтажа сборных сооружений показала, что чем длиннее стрела, тем эффективнее работа деррика, легко осуществляющего верти-



Фиг. 1. Деревянные полые стержни составного поперечного сечения различных форм (квадрат, треугольник и разреженное кольцо)

кально-горизонтальное (бесперегрузочное) перемещение больших и малых грузов.

Новая конструкция пустотелой стрелы деревянного деррик-крана<sup>2</sup> дает возможность осуществить ее длиной до 30 и даже до 40 м при грузоподъемности до 15 т.

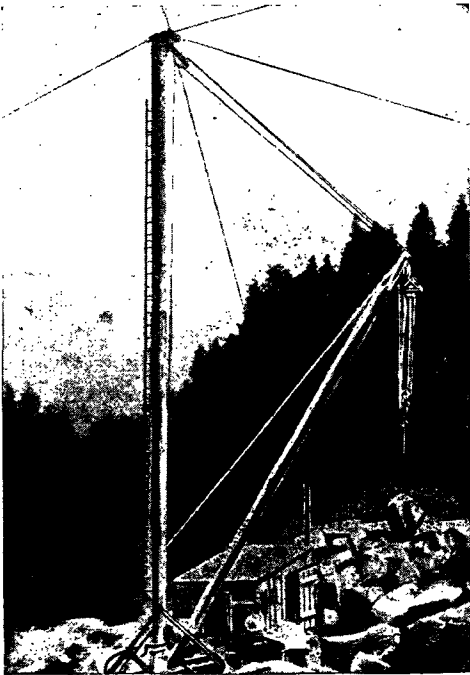
Деревянная стрела системы СДК ЦНИПС<sup>3</sup> законструирована в виде пустотелого квадратного стержня криволинейного очертания (фиг. 3), в углах которого расположены стойки, сшитые из двух или трех досок каждая со стыками вразбежку. По всей длине стойки соединены между собой фанерной обшивкой на гвоздях, шурупах или клею, по концам же сходится и (с некоторой подтеской) образуют сплошное сечение; для лучшего скрепления их между собой здесь вставляется коицевой вкладыш (фиг. 4). На эти концы насаживаются сплошной металлический наконечник или, одевается металлическая накладка, с помощью

<sup>2</sup> Разработана в секторе деревянных конструкций ЦНИПС.

<sup>3</sup> Исследование деревянных стрел деррик-кранов проведено автором в НИС Московского инженерно-строительного института им. Кумбышева.

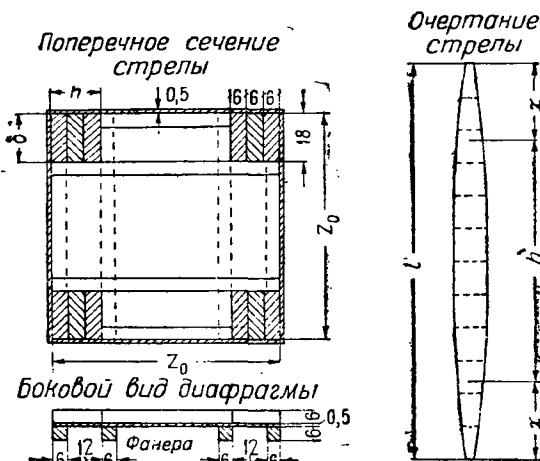
которой через чеку (фиг 5) все сжимающее усилие передается опорной плите крана. Концевая площадь сечения назначается из условия ее сопротивления торцевому смятию.

пленную гвоздями к поперечному листу фанеры (фиг. 6), вырезанному по размерам поперечного



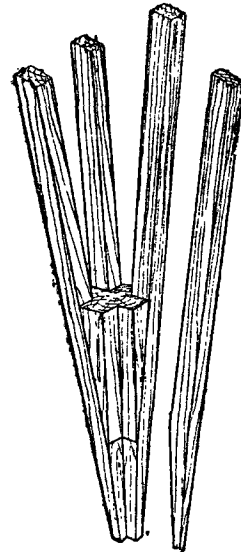
Фиг. 2. Деревянный дerrick-кран

Для обеспечения жесткости поперечного сечения стрелы по всей длине ее внутри расставлены диафрагмы с таким расчетом, чтобы на них попадали швы фанеры; кроме того по одной диафрагме поставлено между швами — та-



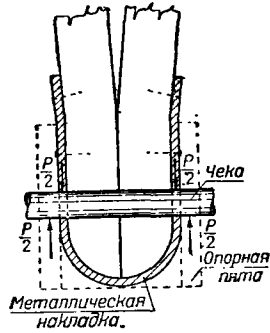
Фиг. 3. Деревянная стрела системы СДК

ким образом расстояние между диафрагмами постоянно и в длинных стрелах равно половине длины листа обшивочной фанеры. Диафрагма представляет собой двойную крестовину, прикре-



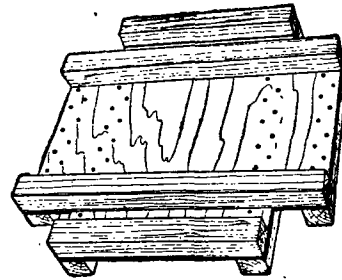
Фиг. 4. Концевой вкладыш к стойкам

сечения стрелы в свету. На фиг. 7 показано расположение таких диафрагм при сомкнутом (ближнем) и еще несомкнутом (заднем) конце стрелы.



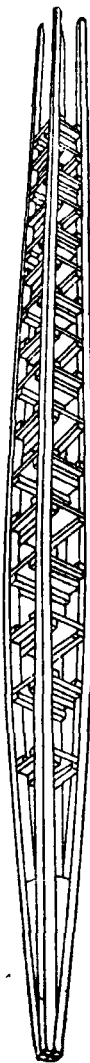
Фиг. 5. Металлический наколечник

стыки досок угловых стоек размещены равномерно по длине стрелы за исключением средней и концевых частей, где эти стыки отсутствуют.

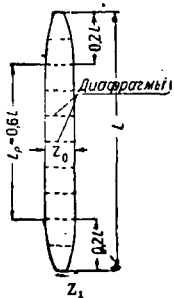


Фиг. 6. Диафрагма

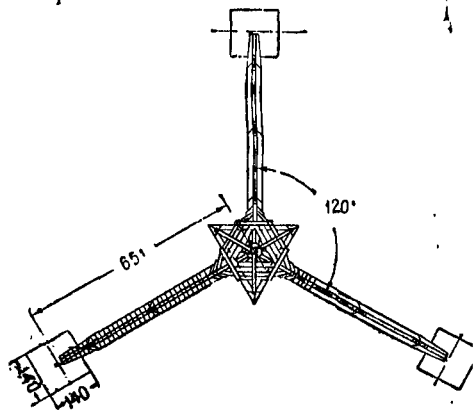
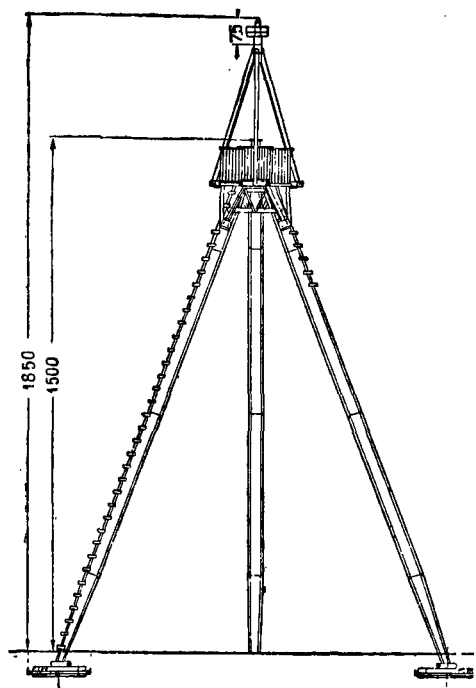
В продольном разрезе стрела (фиг. 8) имеет прямолинейный средний участок длиной в 0,6l

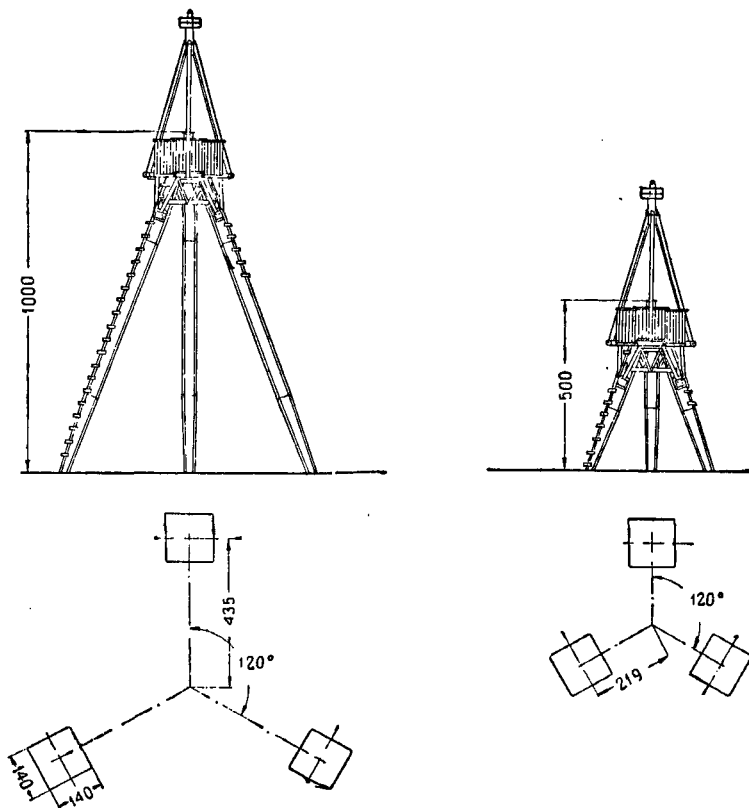


Фиг. 7. Расположение диафрагм в стреле

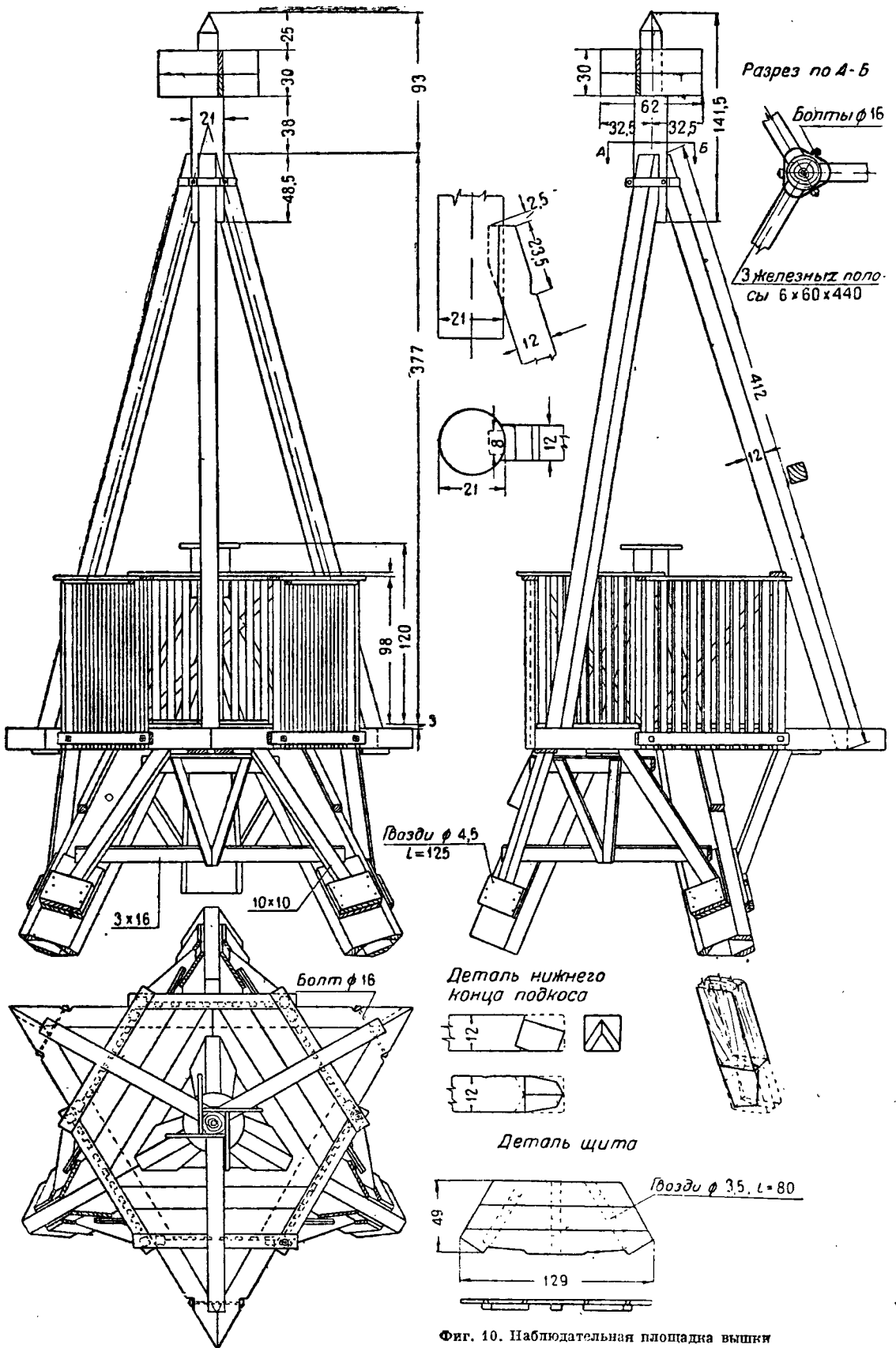


Фиг. 8. Схема очер- тания стрелы





Фиг. 9. Триангуляционные вышки



Фиг. 10. Наблюдательная площадка вышки

и криволинейные по дуге круга концевые участки длиной по 0,2l. Такое очертание стрелы весьма близко к очертанию бруса равного сопротивления продольному изгибу.

Все сказанное в одинаковой мере относится и к «мачте» деррик-крана, поскольку последняя по характеру работы мало отличается от стрелы.

## 2) Триангуляционная вышка

Триангуляционная вышка (фиг. 9)<sup>1</sup> СДК ЦНИПС представляет собой основную несущую трехгранную пирамиду (треногу), состоящую из пустотелых с фанерной обшивкой ног. Наверху помещается наблюдательная площадка (фиг. 10), перила которой служат одновременно ориентиром для визирования на большом расстоянии; стол для инструмента непосредственно опирается на основную пирамиду.

Все три ноги пирамиды верхними концами приболчены к общей болванке, а нижними упираются в загруженные булыжным балластом фундаментные площадки (фиг. 11), к которым во избежание опрокидывания башни при сильном ветре они также приболчены.

Сечение каждой ноги представляет собой треугольник (фиг. 12, а), в углах которого расположены трапециевидного сечения стойки. По всей длине ноги стойки соединены фанерной обшивкой на шурупах, гвоздях или на клею, на концах же сходятся и с некоторой подтегой образуют сплошное шестиугольное сечение (фиг. 12, б).

Ноги работают преимущественно на поперечный изгиб от собственного веса и ветра и лишь в незначительной мере — на осевое сжатие. Близкое к равнопрочному двояко выпуклое очертание ног пирамиды принято в целях удобного центрального опирания в концевых шарнирах, а также для уменьшения собственного веса конструкции.

Поскольку триангуляционная вышка, предназначенная для топографических целей, обычно находится на открытом воздухе, применяемая обшивочная фанера должна быть водонепроницаемой; в случае отсутствия таковой ее можно заменить обычной фанерой на альбуминовом или казеиновом клею при обязательном покрытии водонепроницаемыми красками или лаками. При обшивке обычной фанерой целесообразны также сплошная тканевая обклейка и просмолка конструкции.

Для предохранения от загнивания нижних концов ног пирамиды между булыжным балластом и ногой должны оставаться свободные зазоры (фиг. 11). Древесину опорных площадок полезно креозотировать.

Вся вышка может быть выполнена с борно-разборной (фиг. 13) с таким расчетом, чтобы по мере выключения составных частей треноги один и тот же комплект конструкции позволял осуществлять вышки различной высоты (фиг. 9).

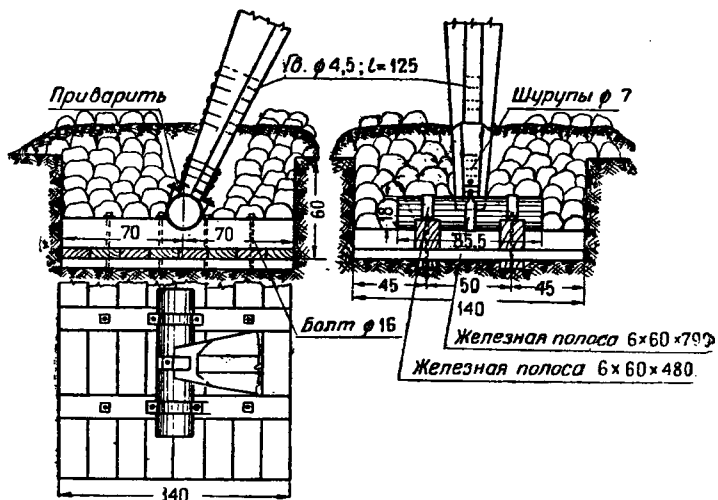
По тому же принципу могут быть с успехом запроектированы причальная башня, прожекторная и другие вышки, аналогичные в своей статической работе.

## 3. Проектирование и расчет

### 1) Основные указания

При проектировании деревянных конструкций из пустотелых сжатых стержней надлежит руководствоваться следующими указаниями:

1. Рациональной кривой продольного очертания, близко соответствующей очертанию бруса



Фиг. 11. Деталь фундамента

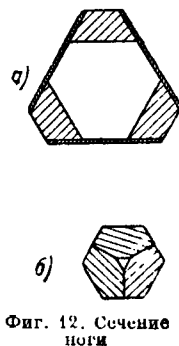
равного сопротивления продольному изгибу, является сочетание прямолинейного среднего участка длиной 0,6l с двумя криволинейными (по дуге круга) концевыми участками длиной по 0,2l.

2. Поперечное сечение стержня назначается тем меньше по внешним размерам и тем ближе к круговому (кольцевому) по очертанию, чем большее значение в работе стержня имеет поперечный изгиб от давления ветра; рабочее сечение стержня хорошо используется при его гибкости  $\frac{l}{r}$  в пределах от 50 до 80.

3. Количество основных диафрагм назначается из условия деления длины стержня примерно на 20 частей. При большой длине стержней, для обеспечения стыкования фанеры на основных диафрагмах, расстояние между диафрагмами принимается равным длине или полудлине имеющихся листов фанеры.

4. Толщина брусочков диафрагмы берется с таким расчетом, чтобы в стыках обшивочной фанеры на диафрагме могли разместиться 2 ряда гвоздей при нормальной их расстановке.

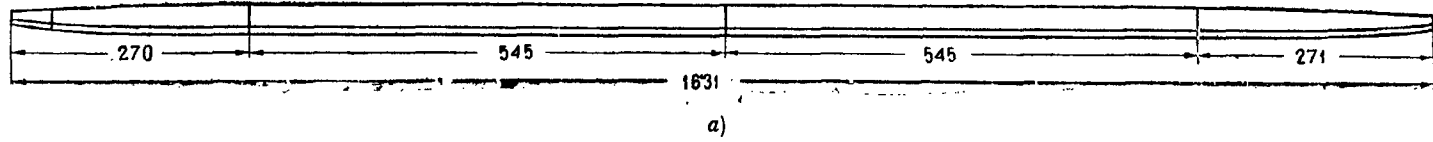
5. Концевой размер сечения стержня определяется главным образом его сопротивлением торцевому смятию сжимающей силой.



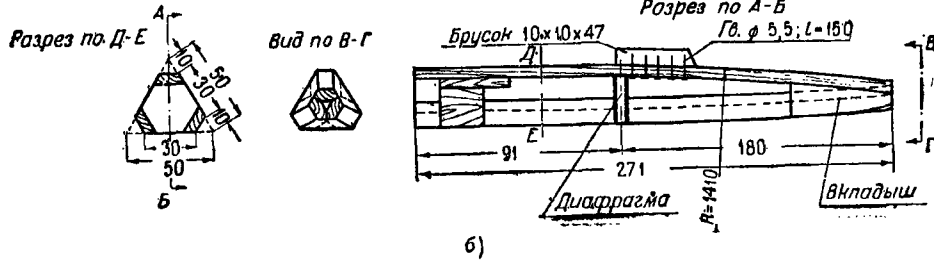
Фиг. 12. Сечение ноги

<sup>1</sup> Проект триангуляционной вышки разработан сотрудниками СДК ЦНИПС инж. Финном К. Д.

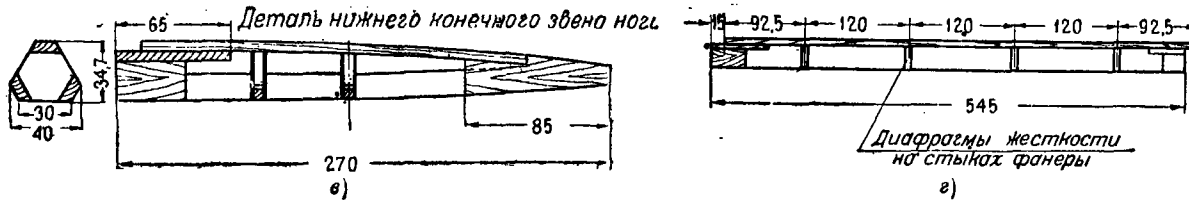
Общий вид ноги



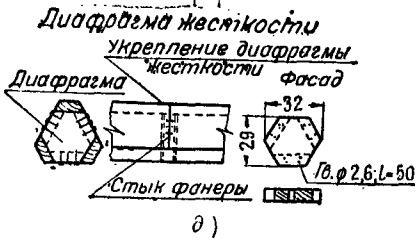
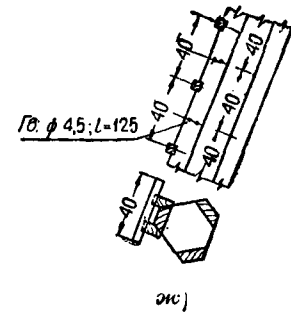
Деталь верхнего конечного звена ноги



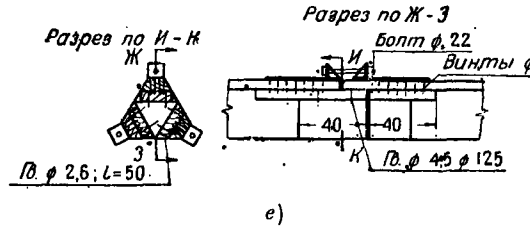
Промежуточное звено ноги



Деталь уста лестницы



Жесткий ботинок ноги



Фиг. 13. Сборно-разборная треугольная вышка

6. Для стрел и мачт деррик-кранов средней и большой грузоподъемности длиной до 30—40 м оптимальным сечением следует считать круглое.

2) Порядок расчета

а) Основные расчетные данные: заданная длина  $l$ , расчетная сжимающая сила  $P$ , отношение призматической части ко всей длине  $\frac{l_p}{l} = 0,6$ . Стержень — двухшарнирный.

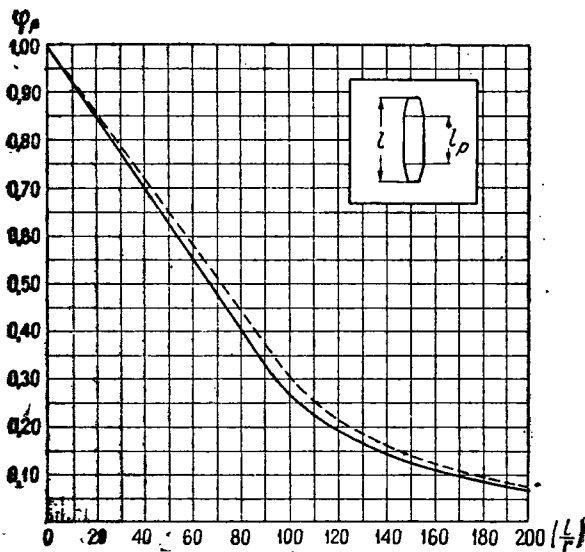
б) Подбор сечений.

Задавшись гибкостью, определяют по графику фиг. 14 коэффициент снижения  $\varphi_p$  допускаемого напряжения по сплошной кривой, данной для  $\frac{l_p}{l} = 0,6$ .

Определяют по формуле

$$\omega = \frac{P}{[n_c] \varphi_p} \quad (1)$$

в первом приближении необходимую площадь сечения стоек и намечают конструкцию. Площадь сечения брусков назначается с тем большим запасом, чем больше ожидается влияние поперечного изгиба.



Фиг. 14. График определения  $\varphi_p$  для стержня  $\frac{l_p}{l} = 0,6$

3) Определение геометрических размеров стержня

Момент инерции с достаточной для расчета точностью можно определить по формулам: для квадратного и кольцевого восьмистоечного сечения (фиг. 1):

$$I_x = F(z - \delta)^2; \quad (2)$$

для треугольного сечения:

$$I_x = \frac{2}{3} F(z - \delta)^2; \quad (3)$$

где  $z$  — поперечный размер сечения стержня;  $\delta$  — размер стороны отдельной стойки;  $F$  — площадь сечения одной стойки.

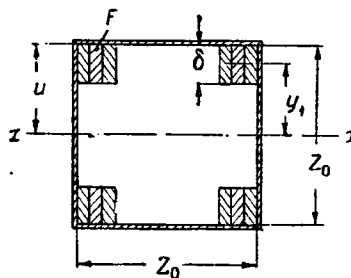
Для квадратного сечения (фиг. 15) радиус инерции:

$$r = \sqrt{\frac{I}{4F}} = \sqrt{\frac{F(z_0 - \delta)^2}{4F}} = \frac{z_0 - \delta}{2}, \quad (4)$$

где  $z_0$  — максимальный размер сечения стержня.

По заданной гибкости  $\frac{l}{r} = \lambda$  максимальный поперечный размер стержня находится по формуле:

$$z_0 = \frac{2l}{\lambda} + \delta. \quad (5)$$



Фиг. 15. Квадратное сечение

Концевой размер стержня  $z_1$  находится из условия смятия торца по формуле:

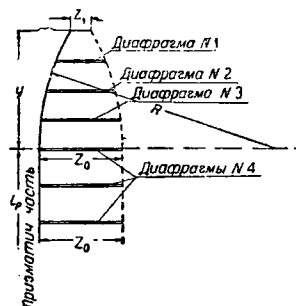
$$z_1 = \sqrt{\frac{P}{[n_c]}}.$$

Имея величины  $z_1$  и  $z_0$  и размер  $y$  концевого криволинейного участка (фиг. 16), величину радиуса закругления можно вычислить по формуле:

$$R = \frac{y^2 + \left(\frac{z_0 - z_1}{2}\right)^2}{z_0 - z_1} \quad (6)$$

или для обычного случая, когда  $y = 0,2 l$ :

$$R = \frac{0,04l^2 + \left(\frac{z_0 - z_1}{2}\right)^2}{z_0 - z_1}. \quad (7)$$



Фиг. 16. Расположение диафрагм

Поперечные размеры промежуточных диафрагм  $z$ , расставленных в концевых участках (фиг. 16), определяются по формуле:

$$z = z_0 - 2R + 2\sqrt{R^2 - al^2}, \quad (8)$$

где  $R$  — радиус закругления концов;  $l_1$  — расстояние между диафрагмами;  $a$  — коэффициент, учитывающий частоту расстановки диафрагм и равный квадрату числа промежутков от начала призматического очертания до рассматриваемой диафрагмы.



Так например, при трех промежуточных диафрагмах (фиг. 16) находим:

для диафрагмы 1:

$$a = 3^2 = 9,$$

для диафрагмы 2:

$$a = 2^2 = 4,$$

для диафрагмы 3:

$$a = 1^2 = 1.$$

#### 4) Расчет соединительных элементов

Соединительный элемент — фавера — рассчитывается на сдвигающее усилие, суммирующееся в одном шве на половине длины стержня и определяемое по обычной формуле ТУ и Н:

$$T_0^{1/2} = k_c \frac{S}{u} \frac{[n_k]}{[n_-]} \left( \frac{1}{\varphi_p} - 1 \right) \frac{P}{\omega}, \quad (9)$$

где  $k_c$  — коэффициент, учитывающий количество швов и способ сопряжения;

$S$  — статический момент максимального поперечного сечения:  $S = 2Fy_1^2$  (фиг. 15);

$u$  — расстояние от нейтральной оси до наиболее удаленного волокна  $u = \frac{z_0}{2}$ ;

$\varphi_p$  — расчетный коэффициент снижения допускаемых напряжений;

$\omega$  — общая площадь сечений; для сечения четырех стоек  $\omega = 4F$ .

В проверке срезающихся напряжений в фанере и в определении частоты расстановки гвоздей учитывается действительное уменьшение  $u$  к шарнирам.

Если  $\frac{l_0}{l} \neq 0,6$ , величина  $\varphi_p$  может быть определена приближенно по формулам:

$$\varphi_p = \varphi \frac{k}{\pi s}$$

для

$$\frac{l}{r} \geq 100$$

и

$$\varphi_p = \varphi - 0,43(1 - \varphi) \left( 1 - \frac{k}{\pi s} \right)$$

для

$$\frac{l}{k} \leq 100, \quad (11)$$

где  $\varphi$  — коэффициент снижения допускаемого напряжения на продольный изгиб призматического стержня;

$k$  — коэффициент, учитывающий криволинейность очертания концов стержня.

Для различных значений  $\frac{l_p}{l}$ ,  $\frac{l_1}{l_0}$  и закреплений концов стержня величины  $k$  проф. Динником<sup>1</sup> собраны в специальной таблице.

Если стержень кроме осевой сжимающей силы работает еще на поперечный изгиб, рабочее сечение его поверяется по формуле сложного сопротивления.

Для лучшего обеспечения жесткости и устойчивости фанеры можно рекомендовать постановку внутренних брусчатых ребер жесткости, распределяемых так же, как и в балках с фанерными стенками

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Александрин А. И. и Соколов И. Д., Деррики в строительстве, Госстройиздат, 1933 г.
2. Кривожиж В. И., Деррики на строительных работах Америки, изд. журнала «Американская техника и промышленность», 1933 г.
3. Проф. Динник А. Н., О расчете стоек переменного сечения, «Вестник инженеров» № 8, 1927 г. и «Строит. пром.» № 1, 1926 г.
4. Проф. Завриев К. С., Определение поперечной силы при продольном изгибе, НОИС № 4—5, 1932 г.
5. Урбан И. В., О расчете деррик-крана, «Вестник инженеров».
6. Проф. Филоненко-Бородич А. М., О математической ошибке при расчете на продольный изгиб, «Вестник инженеров» № 1—8, 1927 г.

*Инж. В. А. ЗАМАРАЕВ*

## Х. ПОДКРАНОВЫЕ БАЛКИ

### 1. Общие сведения

#### 1) Область применения

Использование дерева как материала для подкрановых балок допускается механическими качествами древесины и температурно-влажностным режимом большинства промышленных зданий.

В отличие от ряда других деревянных конструкций подкрановые пути в цеху, как правило, защищены от вредных влияний дифференциальной конденсации и от непосредственного действия атмосферы.

Постепенное нарастание прогибов вследствие усушки и пластических деформаций древесины может быть устранено в подкрановых балках путем применения просушенной древесины специальными конструктивными мероприятиями и правильным выбором материала и типа креплений.

Несмотря на то, что опытных данных, характеризующих работу деревянных подкрановых балок, имеется мало, все же наиболее совершенные типы их уже в настоящее время могут быть без опасений рекомендованы к применению.

Относительно малая грузоподъемность деревянных подкрановых балок, недопустимость нагрева и опасность возгорания дерева ограничивают область их применения. В частности совершенно исключается возможность применения таких балок в литейных, мартеновских, прокатных, термических и лакокрасочных цехах, а также в кузницах и на шихтовых дворах.

Деревянные подкрановые балки могут успешно применяться для ручных кранов (независимо от их грузоподъемности), для электрических кранов легкой и нормальной работы грузоподъем-

<sup>1</sup> См. статью проф. Динника А. И. «О расчете стоек переменного сечения», «Вестник инженеров» № 8, 1927 г.

ностью до 5 т (вместо железобетонных балок, требующих значительного расхода металла и сложных креплений рельсового пути) и для монтажных кранов с грузоподъемностью до 10 т, а в исключительных случаях и выше.

2) Материал

Требования, предъявляемые к качеству материалов на подкрановые балки, определяются условиями их эксплуатации, а именно: вредным влиянием просядок балки на движение крана, наличием динамической нагрузки, интенсивностью работы подкрановых балок (несущих нагрузку, близкую по величине к допускаемой) и необходимостью иметь вполне надежную конструкцию, не требующую частых ремонтов и не вызывающую перебоев производственных процессов.

В соответствии с этим желательно применение воздушно-сухого леса марок 0 или 1 в зависимости от типа конструкций. Для балок, в которых регулирование профиля пути простыми средствами трудно достижимо или невозможно, применение воздушно-сухой древесины совершенно необходимо.

Элементы конструкций, работающие на растяжение, должны изготавливаться из отборного леса; применение сучковатых или косослойных досок для этих элементов недопустимо.

Для прокладок и накладок узловых сопряжений на шкельовых врубках должна применяться только воздушно-сухая древесина марки 0.

Тяжи и металлические затяжки в смешанных конструкциях изготавливаются из стали 3.

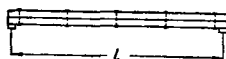
Рельсы подкранового пути следует применять только железнодорожного типа (IVa). Обладая по сравнению с профилями квадратного и прямоугольного сечения большей жесткостью, такие рельсы лучше обеспечивают распределение сосредоточенной крановой нагрузки на верхний пояс балки.

3) Конструктивные схемы

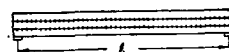
Приведенные на фиг. 1—7 схемы балок не охватывают всех систем, предлагаемых отдельными авторами, но являются лучшими как по своим

техническим качествам, так и по экономическим показателям (за исключением параболической балки, о которой см. ниже).

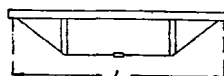
Нормальная величина пролета для балок 5—7 м за исключением брусчатой балки, для которой пролет 5 м является предельным. Строительная высота конструкций в зависимости от типа балок изменяется от 1/10 до 1/4 пролета. Минимальную высоту имеют балки на пластинчатых нагелях.



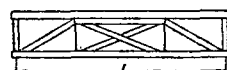
Фиг. 1. Простая брусчатая балка



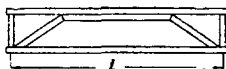
Фиг. 2. Балка на пластинчатых нагелях



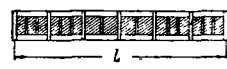
Фиг. 3. Шпренгельная балка



Фиг. 4. Балка типа Гау (по схеме, предложенной инж. П. Ф. Пleshковым)



Фиг. 5. Ригельно-подкосная балка



Фиг. 6. Двутавровая балка с перекрестной стенкой



Фиг. 7. Параболическая балка (системы Лпшева)

4) Технико-экономическое сопоставление балок различной конструкции

В табл. 1 приведены данные, полученные для балок пролетом 6 м, запроектированных под электрический кран нормальной работы грузоподъемностью в 5 т с пролетом моста 18 м.

Расход материалов определен с учетом отходов при производстве работ.

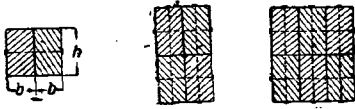
Таблица 1

| Тип балки                                    | Расход материалов       |              |        |        |       | Вес балки в т | Сравнительные показатели в % |                   |
|--|-------------------------|--------------|--------|--------|-------|---------------|------------------------------|-------------------|
|  | дерево в м <sup>3</sup> | металлы в кг |        |        |       |               | по расходу металла           | по расходу дерева |
|  |                         | болты        | гвозди | прочее | всего |               |                              |                   |
| На пластинчатых нагелях . . . . .            | 1,26                    | 11,83        | —      | —      | 11,83 | 0,70          | 100                          | 156               |
| Шпренгельная . . . . .                       | 0,81                    | 13,92        | 0,13   | 85,62  | 99,67 | 0,63          | 835                          | 100               |
| Трехпанельная Гау . . . . .                  | 1,28                    | 21,16        | 6,33   | 16,02  | 43,51 | 0,88          | 367                          | 158               |
| Ригельно-подкосная . . . . .                 | 1,26                    | 22,77        | 5,11   | 11,84  | 39,72 | 0,86          | 334                          | 156               |
| Двутавровая с перекрестной стенкой . . . . . | 1,00                    | 11,86        | 45,52  | 4,20   | 61,58 | 0,61          | 519                          | 124               |
| Параболическая . . . . .                     | 1,50                    | 30,58        | 11,08  | 25,40  | 67,06 | 1,03          | 564                          | 186               |
| Сборная железобетонная . . . . .             | 0,056                   | —            | 2      | 211    | 213   | 3,8           | 1700                         | 7                 |
| Металлическая прокатная . . . . .            | —                       | —            | —      | 581    | 581   | 0,58          | 4900                         | —                 |

## 2. Брусчатая балка

### 1) Общие сведения

Простейшим типом всякой конструкции, работающей на изгиб, может быть брус прямоугольного сечения. При ограниченности сортамента прочность и жесткость одного бруса для восприятия крановых нагрузок (даже при малых пролетах) недостаточны, в силу чего для подкрановых балок применяются пакеты брусьев, соединенных между собой болтами диаметром 12—16 мм. В зависимости от пролета и нагрузки пакеты составляются из двух, четырех или шести брусьев (фиг. 8—10). Болты ставятся в обеих плоскостях через 1,0—1,5 м и, являясь лишь конструктивной связью, не рассчитываются.



Фиг. 8 Фиг. 9 Фиг. 10  
 Поперечные сечения простых брусчатых балок

Каждый из брусьев работает на изгиб самостоятельно, поэтому расчетные моменты инерции и сопротивления для всего сечения определяются как суммы моментов отдельных брусьев относительно их собственных осей.

Во избежание больших просадок при движении крана расчетный прогиб таких балок должен быть не более  $\frac{1}{500} L$ . При этом условии подбор сечений производится всегда по жесткости, так как полное использование допускаемых напряжений даже при максимальной высоте бруса  $h = 26,0$  см возможно только для пролета  $l \ll 9,6h = 2,50$  м.

Несущая способность балок видна из табл. 2.

Таблица 2

Несущая способность брусчатых подкрановых балок

| Пролеты балок в м | Пределы грузоподъемности кранов в т |                 |                                |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------|--------------------------------|
|                   | ручных однопольных                  | ручных мостовых | нормальных электрических       |
| 4,0               | Не ограничены                       | 7,5             | Брусчатые балки не применяются |
| 5,0               | »                                   | 3,0             |                                |
| 6,0               | 3,0                                 | Не применяются  |                                |

Указанные в табл. 2 предельные нагрузки определены для пакетов в шесть брусьев, выделяемых из бревен диаметром  $d = 30,0$  см с соотношением сторон 4 : 7.

В лесистых районах, где возможно получение более крупного сортамента, пределы несущей способности балок могут быть соответственно повышены.

Преимуществом балок брусчатого типа является простота их изготовления и установки, недостатком — неэкономное использование древесины.

Сравнительно небольшие напряжения изгиба, возникающие в брусчатых балках под расчетной нагрузкой, не вызывают накопления пластических деформаций, а следовательно и провисания балок в процессе эксплуатации подкрановых путей.

### 2) Расчет

Необходимый суммарный момент инерции брусьев определяется при  $\frac{f}{l} = \frac{1}{500}$  и  $E = 100\,000$  кг/см<sup>2</sup> по формуле:

$$I_x = \frac{\eta Pl^2}{200}, \quad (1)$$

где  $\eta$  — коэффициент, зависящий от соотношения между базой крана  $k^1$  и расчетным пролетом балки  $l$  (табл. 3);

$P$  — давление на колесо крана.

Таблица 3

Значения коэффициента  $\eta$

| $\frac{k}{l}$ | $\eta$ | $\frac{k}{l}$ | $\eta$ |
|---------------|--------|---------------|--------|
| 0,20          | 0,0393 | 0,45          | 0,0309 |
| 0,25          | 0,0380 | 0,50          | 0,0286 |
| 0,30          | 0,0366 | 0,55          | 0,0263 |
| 0,35          | 0,0349 | 0,60          | 0,0236 |
| 0,40          | 0,0330 | 0,65          | 0,0210 |

Жесткость балок в горизонтальной плоскости должна удовлетворять неравенству:

$$I_y \geq \frac{\eta T l^2}{200}, \quad (2)$$

где  $T$  — тормозная сила на одно колесо;

$I_y$  — суммарный момент инерции относительно вертикальной оси.

Расчетные изгибающие моменты исчисляются по формулам:

$$M_y = \psi Pl; \quad (3)$$

$$M_x = \psi Tl. \quad (4)$$

Значения коэффициента  $\psi$  приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения коэффициента  $\psi$

| $\frac{k}{l}$ | $\psi$ | $\frac{k}{l}$ | $\psi$ |
|---------------|--------|---------------|--------|
| 0,20          | 0,405  | 0,45          | 0,300  |
| 0,25          | 0,383  | 0,50          | 0,281  |
| 0,30          | 0,361  | 0,55          | 0,263  |
| 0,35          | 0,340  | 0,575         | 0,254  |
| 0,40          | 0,320  |               |        |

Промежуточные значения  $\psi$  определяются по интерполяции.

Нормальные краевые напряжения изгиба в брусьях:

$$n_u = \frac{M_y}{W_x} + \frac{M_x}{W_y}, \quad (5)$$

где  $W_x$  и  $W_y$  — суммарные моменты сопротивления сечения брусьев относительно горизонтальных и вертикальных осей.

Влияние на размеры поперечного сечения собственного веса балки и постоянной нагрузки кранового пути ничтожно и для простоты расчета может не учитываться.

<sup>1</sup> База крана — расстояние между бегунками.

### 3. Балка на пластинчатых нагелях<sup>1</sup>

Балки этого типа, обладая большими преимуществами перед другими системами брусчатых балок, являются наиболее совершенной конструкцией для подкрановых балок.

#### 1) Принципы конструирования и расчета

По высоте в зависимости от пролета и нагрузки балки состояются из двух или трех брусьев, сплачиваемых пластинчатыми нагелями. На опорах брусья стягиваются болтами диаметром 12—16 мм.

По ширине балки могут быть спаренными или строеными, в горизонтальной плоскости они стягиваются болтами через 1,5—2,0 м.

Ввиду того что эти болты являются только конструктивной связью, напряжения от тормозных усилий тележки крана и жесткость в горизонтальной плоскости вычисляются так же, как и для простой брусчатой балки.

Пластинчатые нагели размещаются в подкрановых балках по всей длине пролета равномерно. Допускаемое усилие на наиболее напряженный нагель определяется по формуле:

$$T_n = k\delta b, \quad (6)$$

где  $k$  — опытный коэффициент, зависящий от породы древесины;

$\delta$  — толщина нагеля;

$b$  — ширина нагеля (размер в направлении ширины балки). Для твердых пород (дуб, клен, ясень, береза) с влажностью до 15% при длине нагеля  $l_n = 4,5\delta$  можно принять  $k = 64^2$ .

При этом допускаемое усилие на один нагель:

$$T_n = 64\delta b. \quad (7)$$

При изготовлении балок им придается конструктивный строительный подъем второго рода. Величина подъема определяется из условия равенства нулю стрелки прогиба в середине пролета при симметричном расположении расчетной нагрузки.

Для упрощения изготовления балок, а также для максимального уменьшения начальных сдвигающих напряжений подъем придается силой, сосредоточенной по середине пролета<sup>2</sup>.

Необходимая величина стрелки находится по формуле:

$$f_{cnp} = f_{ynp} + f_{cдв} = \frac{\eta P l^3}{E(I_n - I_c)} + f_{cдв}, \quad (8)$$

где  $\eta$  — коэффициент, определяемый по табл. 3;

$P$  — давление на одно колесо крана;

$E$  — модуль упругости дерева при изгибе;

$I_n$  — момент инерции монолитного поперечного сечения балки (в предположении абсолютной жесткости швов);

$I_c$  — сумма моментов инерции отдельных брусьев, составляющих балку относительно их собственных осей;

$f_{cдв}$  — дополнительный прогиб от сдвигов в швах.

При расчете балки приходится определять отдельно: 1) начальные напряжения, возникающие при ее изготовлении, и 2) напряжения от крановой нагрузки, как в балке монолитного сечения.

Начальные напряжения, возникающие в балке от конструктивного строительного подъема, могут быть определены через силу  $V$ , которую необходимо приложить по середине пролета балки для изгиба брусьев в станке. Величина этой силы находится из выражения:

$$f_{cnp} = \frac{V l^3}{48 E I_c},$$

откуда:

$$V = \frac{48 E I_c}{l^3} f_{cnp}. \quad (9)$$

Подставляя в ф-лу (9) вместо  $f_{cnp}$  его значение из ф-лы (8), после преобразования получим:

$$V = 48 \eta P \cdot \frac{I_c}{I_n - I_c} + \frac{48 E I_c}{l^3} f_{cдв}. \quad (10)$$

Ввиду того что под расчетной нагрузкой будет полностью иметь место предполагаемый нами сдвиг в швах балки, для нахождения расчетной силы  $V_{cnp}$  необходимо отбросить второй член выражения (10). Тогда ф-ла (10) примет вид:

$$V_{cnp} = 48 \eta P \frac{I_c}{I_n - I_c}. \quad (10')$$

Последнее положение, так же как и дальнейший расчет, может быть пояснено следующим представлением о работе конструкции по стадиям.

1. Уложив брусья, составляющие балку, в станок, действуем на них снизу вверх силой  $V_{cnp}$  и выгибаем брусья по кривой со стрелкой:

$$f_{ynp} = \frac{\eta P l^3}{E(I_n - I_c)};$$

2. Соединяем брусья между собой абсолютно неподатливыми связями, чем превращаем балку в монолитную.

3. Снимаем балку со станка. Снятие со станка эквивалентно действию на монолитно соединенную балку той же силой  $V_{cnp}$ , но направленной сверху вниз.

4. Действуем на балку расчетной (крановой) нагрузкой.

5. Заменяем жесткие связи податливыми, напрягая податливые связи при их установке теми же усилиями, какие имеют место в жестких связях, и устанавливая уже напряженные и соответственно деформированные связи по швам балки.

Таким образом в стадии 5 мы имеем расчетный случай балки с податливыми связями под крановой нагрузкой, причем сдвиг в швах, имеющий место в этой стадии, соответствует полной стрелке выгиба  $f_{cnp}$  по ф-ле (8).

Расчетные напряжения в элементах балки получаются суммированием напряжений, возникающих в балке в стадиях 1, 2, 3 и 4, причем в стадии 1 сила  $V_{cnp}$  действует на ничем не соединенные брусья, а в стадиях 3 и 4 сила  $V_{cnp}$  и крановая нагрузка действуют на вполне монолитную балку.

Изгибающий момент в расчетном сечении балки при действии груза  $V_{cnp}$  снизу вверх (стадия 1):

$$M_{cnp} = V_{cnp} \left( \frac{l}{4} - \frac{h}{8} \right), \quad (11)$$

где  $h$  — база крана.

Этот момент распределяется между составляющими балку брусьями пропорционально их моментам инерции.

Следовательно на один брус передается:

$$\Delta M_{cnp} = M_{cnp} \frac{I_0}{I_c}, \quad (12)$$

<sup>1</sup> Подробное описание балок этой системы см. «Балки на пластинчатых нагелях системы Деревягина».

<sup>2</sup> По данным ЦНИПС и Промстройпроекта.

<sup>3</sup> Подробное см. «Конструктивный строительный подъем».

где  $I_0$  — момент инерции рассматриваемого бруса относительно его собственной оси.

Полные краевые начальные напряжения, возникающие в рассматриваемом бруске от строительного подъема (стадия 1 плюс стадия 3), находятся из выражения:

$$n_{стр} = \frac{M_{стр}}{I_M} y \pm \frac{\Delta M_{стр}}{W_0} = \frac{M_{стр}}{W_M} + \frac{M_{стр} I_0}{W_0 I_c}, \quad (13)$$

где  $y$  — ординаты верхней и нижней кромок бруса относительно нейтральной оси всего поперечного сечения бруса,  $W_0$  — момент сопротивления сечения бруса.

Сдвигающее усилие на единицу длины (от силы  $V_{стр}$ ):

$$T_{стр} = \frac{V_{стр} S}{2 I_M}, \quad (14)$$

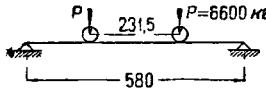
где  $S$  — статический момент части сечения, сдвигающейся по рассматриваемому шву.

Расчетные напряжения в балке получаются суммированием напряжений от крановой нагрузки с напряжениями от строительного подъема. Допускаемые напряжения при расчете балок на пластинчатых нагелях, учитывая их составность, обычно принимаются с коэффициентом 0,8 от основных по ТУ и Н.

В обычных случаях расчет производится по прочности нагельного шва, и допускаемые напряжения в древесине полностью не используются.

## 2) Пример расчета

Расчетные данные: пролет балки  $l = 5,80$  м, грузоподъемность крана  $P_t = 5,0$  т, пролет моста  $18,0$  м, давление на одно колесо  $P = 6,60$  т, база крана  $k = 2,315$  м (фиг. 11), вес тележки  $P_m = 1,95$  т.



Фиг. 11. Схема нагрузки

Тормозная сила от тележки с грузом на одно колесо:

$$S = \frac{P_t + P_m}{40} = \frac{5,00 + 1,95}{40} = 0,174 \text{ т.}$$

Постоянная нагрузка и собственный вес балки при расчете не учитываются.

Циолматериал — полусухая сосна.

Изгибающие моменты и поперечные силы — от крановой нагрузки.

По табл. 4 для  $\frac{k}{l} = \frac{2,315}{5,80} = 0,4$ , коэффициент  $\varphi = 0,320$ . Изгибающий момент в вертикальной плоскости:

$$M_y = 0,320 \cdot 6\,600 \cdot 5,80 = 12\,250 \text{ кг.м.}$$

Изгибающий момент в горизонтальной плоскости:

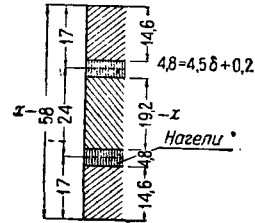
$$M_x = 0,320 \cdot 174 \cdot 5,80 = 323 \text{ кг.м.}$$

Поперечная сила в сечении под второй шпалой на расстоянии 40 см от оси опоры:

$$Q = \frac{2(l-x) - k}{l} \cdot P = \frac{2(5,80 - 0,40) - 2,315}{5,80} \cdot 6\,600 = 9\,650 \text{ кг.}$$

Задаемся высотой балки  $h = 58$  см, что составляет  $\frac{1}{10} l$ .

Размеры поперечного сечения за исключением ширины брусьев указаны на фиг. 12.



Фиг. 12. Рабочая площадь поперечного сечения

## а) Геометрические характеристики принятого сечения

Ослабление сечения брусьев по высоте равно половине длины нагеля, увеличенной на 1 мм. Толщину нагеля принимаем равной  $\delta = 1,0$  см, при этом длина нагеля  $l_n = 4,5\delta = 4,5$  см.

Следовательно ослабление брусьев по высоте составит:

$$h_i = \frac{4,5}{2} + 0,1 \approx 2,4 \text{ см.}$$

Для ширины балки в 1 см имеем: момент инерции всего сечения в предположении абсолютной жесткости швов:

$$I_M = \frac{19,2^3 + 2 \cdot 14,6^3}{12} + 14,6 \cdot 21,7^2 \cdot 2 = 14\,850 \text{ см}^4;$$

то же для отдельно взятого крайнего бруса:

$$I_k = \frac{14,6^3}{12} = 259 \text{ см}^4;$$

то же для среднего бруса:

$$I_0 = \frac{19,2^3}{12} = 590 \text{ см}^4;$$

для всего пакета брусьев:

$$I_c = 2I_k + I_0 = 1\,108 \text{ см}^4.$$

Моменты сопротивления соответственно определяются:

$$W_M = \frac{14\,850}{29} = 512 \text{ см}^3$$

и

$$W_k = \frac{259}{7,5} = 35,5 \text{ см}^3.$$

Статический момент площади крайнего бруса относительно нейтральной оси балки:

$$S = 14,6(12,0 + 2,4 + 7,3) = 317 \text{ см}^3.$$

## б) Усилия от конструктивного строительного подъема

По ф-ле (10'):

$$V_{стр} = 48\eta P \frac{I_c}{I_M - I_c}.$$

По табл. 3 при  $\frac{k}{l} = 0,4$  коэффициент  $\eta = 0,033$ , следовательно:

$$V_{стр} = 48 \cdot 0,033 \cdot 6\,600 \frac{1\,108}{14\,850 - 1\,108} = 840 \text{ кг.}$$

Сдвигающая сила на длине 1 см по ф-ле (14):

$$T_{стр} = \frac{840 \cdot 317}{2 \cdot 14\,850} = 8,97 \text{ кг/см,}$$

или 897 кг/м.



При вычислении  $f_{сдв}$  сдвиг в нагельном шве принимается равным 1,5 мм:

$$f_{сдв} = \frac{0,033 \cdot 6\,600 \cdot 580^3}{10^8 (14\,850 - 1\,108) 34} + \frac{2 \cdot 0,15 \cdot 580}{3(24 + 17 + 4,8)} = 2,2 \text{ см.}$$

е) Расчет опорной подушки

Наибольшее значение опорной реакции:

$$A_{\max} = 6\,600 \left( 1 + \frac{5,80 - 2,315}{5,80} \right) = 10\,550 \text{ кг.}$$

Необходимая площадь опирания балки:

$$\omega_c = \frac{A_{\max}}{[\sigma_c]} = \frac{10\,550}{22,5} = 470 \text{ см}^2.$$

Спецификация дерева на одну балку:

брусья 17 × 17 см; l = 600 см; штук 4—0,693 м<sup>3</sup>;  
 » 17 × 24 см; l = 600 » » 2—0,489 »  
 нагели 1,0 × 4,5 × 9,8 см; » 454—0,020 »  
 Итого . . 1,20 м<sup>3</sup>

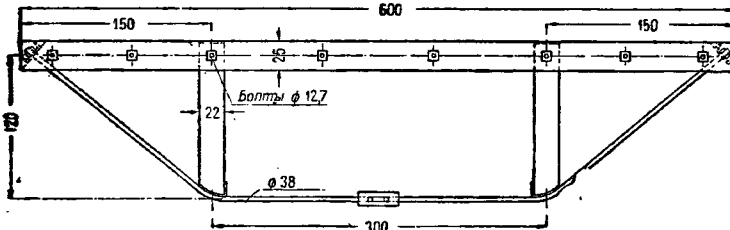
Спецификация металла на одну балку:

болты d = 12 мм; l = 360 мм; штук 4—2,04 кг;  
 » d = 12 » l = 600 » » 10—7,74 »  
 » крепления к колонне; » 1—1,49 »  
 Итого . . 11,3 кг

4. Шпренгельная балка

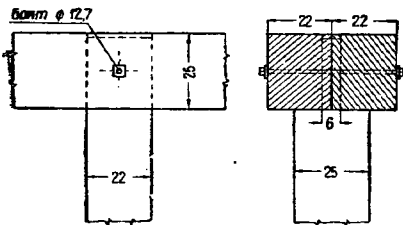
1) Конструкция

Шпренгельная балка получена путем усиления простой брусчатой балки стальным тягом и деревянными стойками, распирающими балку и тяг (фиг. 16).



Фиг. 16. Шпренгельная балка

По ширине балка обычно составляется из двух брусьев, соединяемых между собой горизонтальными болтами диаметром 12—16 мм.



Фиг. 17. Сопряжение стойки с верхним поясом

Стойки шпренгеля сечением в один брус располагаются в четвертях пролета; при этом расчетные напряжения в крайних и средней панелях балки примерно уравниваются.

Стойки соединяются с балкой сквозным шипом (фиг. 17). Нижние торцы стоек для обеспечения плавности перегиба тяга закругляются и усиливаются стальными оголовниками, к которым приваривается тяг (фиг. 18).

Тяг изготавливается из стали 3.

В целях экономии металла концы его осаживаются под нарезку с таким расчетом, чтобы рабочее сечение по нарезке было равнопрочно неослабленному сечению (фиг. 19).

В средней горизонтальной части тяга ставится винтовая муфта (фиг. 20), позволяющая регулировать профиль кранового пути в случае провисания балки.

Соединение тяга с балкой в опорном узле производится при помощи обрезка швеллера, располагаемого на наклонных щековых торцах балки (фиг. 21).

Конструктивная высота шпренгельных балок изменяется в пределах от 1/5 до 1/4 пролета.

По сравнению с другими типами конструкций шпренгельная балка наиболее металлоемка даже при оптимальной высоте шпренгеля.

При изготовлении балок им придается с помощью винтовой муфты строительный подъем, величину которого рекомендуется назначать в 1/1000 пролета. Назначение подъема — предупредить возможное провисание системы от обмятия узловых соединений и от усушки дерева. Учет подъема в расчете балки предохраняет шпренгель от перенапряжения при эксплуатации подкрановых путей.

Простота конструкции и возможность легкой регулировки профиля пути допускают применение для шпренгельных балок полусухого леса марки 1 и ставят их на одно из первых мест среди прочих систем подкрановых балок.

2) Статический расчет

Рассматриваемая шпренгельная система статически неопределима. За лишнюю неизвестную проще всего принять распор H.

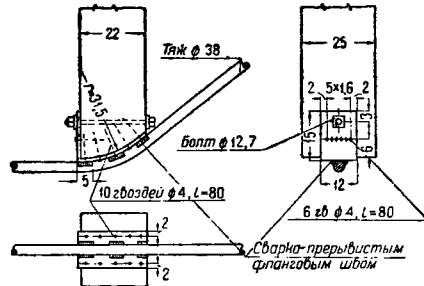
Основная статически определяемая система изображена на фиг. 22, фиктивное состояние показано на фиг. 23.

Уравнение работ имеет вид:

$$-P\delta_{рн} + H\delta_{нн} = 0, \quad (15)$$

откуда:

$$H = P \cdot \frac{\delta_{рн}}{\delta_{нн}};$$



Фиг. 18. Сопряжение стойки с тягом

полагая P = 1, получим ординату линии влияния распора H под грузом:

$$\eta_n = \frac{\delta_{рн}}{\delta_{нн}}, \quad (16)$$

т. е. линия влияния распора получается как линия прогиба основной системы при нагрузке  $H = 1$  и при масштабе  $1 = \delta_{nn}$ .

а) Определение перемещений

Уравнения упругой линии для простой балки, нагруженной двумя сосредоточенными на расстояниях  $a$  от опор силами, равными в данном случае  $1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$  каждая, имеют вид:  
при  $x \leq a$ :

$$y_1 = \delta_{yn} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{6E_0 I_0} [3ax(l-a) - x^3]; \quad (17)$$

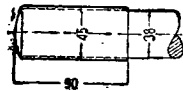
при  $a \leq x \leq (l-a)$ :

$$y_2 = \delta_{yn} = \frac{a \operatorname{tg} \alpha}{6E_0 I_0} [3x(l-x) - a^2], \quad (18)$$

где  $E_0$  — модуль продольной упругости балки;  
 $I_0$  — момент инерции балки.

Перемещение  $\delta_{nn}$  определяется по формуле Мора:

$$\delta_{nn} = \sum \int \frac{\bar{M}^2}{E_0 I_0} dx + \sum \int \frac{\bar{N}^2}{EF} ds. \quad (19)$$



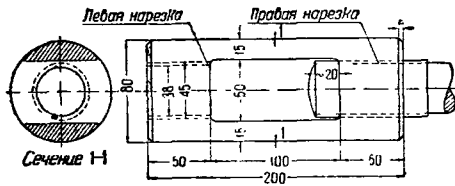
Фиг. 19: Осаженный под нарезку конец троса

С достаточной для практики точностью в целях упрощения расчета можно принять:

$$\sum \int \frac{\bar{N}^2}{EF} ds = 0,06 \sum \int \frac{\bar{M}^2}{E_0 I_0} dx. \quad (20)$$

В этом случае ф-ла (19) принимает вид:

$$\begin{aligned} \delta_{nn} &= 1,06 \sum \int \frac{\bar{M}^2}{E_0 I_0} dx = \\ &= \frac{1,06}{E_0 I_0} \left[ 2 \int_0^a \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot x^2 dx + \int_a^{l-a} \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot a^2 dx \right] = \\ &= \frac{1,06a^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{3E_0 I_0} (3l - 4a). \end{aligned} \quad (21)$$



Фиг. 20. Винтовая муфта троса

б) Расчетные формулы

Подставляя в выражение (16) найденные значения перемещений, получим два уравнения линии влияния распора:  
при  $x \leq a$ :

$$\eta'_n = \frac{3ax(l-a) - x^3}{2,12a^2 + \operatorname{tg} \alpha (3l - 4a)}; \quad (22)$$

при  $a \leq x \leq (l-a)$ :

$$\eta'' = \frac{3x(l-x) - a^2}{2,12a \operatorname{tg} \alpha (3l - 4a)}. \quad (23)$$

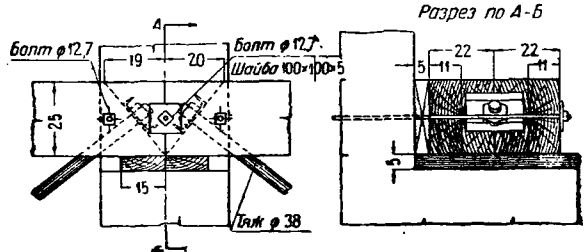
Введем обозначения:

$$\frac{a}{l} = m \text{ и } \frac{x}{l} = n,$$

тогда ур-ния (22) и (23) примут вид:

$$\eta'_n = \frac{3mn(1-m) - n^3}{2,12m^3(3-4m) \operatorname{tg} \alpha}; \quad (22')$$

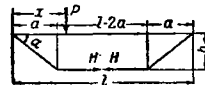
$$\eta'' = \frac{3n(1-n) - m^2}{2,12m(3-4m) \operatorname{tg} \alpha}. \quad (23')$$



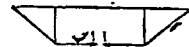
Фиг. 21. Сопряжение тросов с верхним поясом

Ниже на фиг. 24—26 приведены линии влияния распора  $H$  при различных соотношениях  $\frac{a}{l}$ , встречающихся в практике. Площадь каждой из линий влияния  $H$  определяется из выражения:

$$\omega = 2 \int_0^a \eta'_n dx + \int_a^{l-a} \eta'' dx = \frac{m^3 - 2m^2 + 1}{4,24(3-4m)} \cdot \frac{l^2}{h}.$$



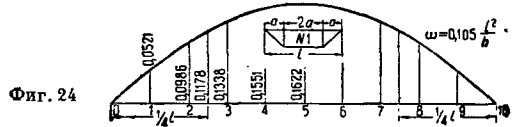
Фиг. 22. Основная система



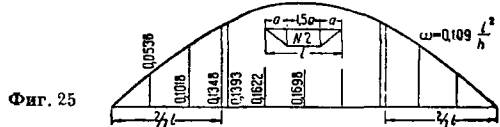
Фиг. 23. Фиктивное состояние

Усилие в наклонной панели троса находится по формуле:

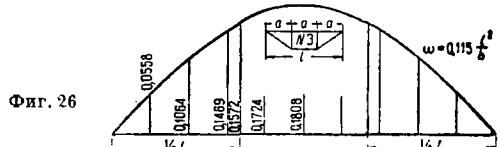
$$S_{\max} = \frac{H_{\max}}{\cos \alpha}. \quad (24)$$



Фиг. 24



Фиг. 25



Фиг. 26

Ординаты линий влияния распора в шпренгельных балках в долях от  $\frac{l}{h}$

Усилие в стойках:

$$V_{\max} = H_{\max} \operatorname{tg} \alpha.$$

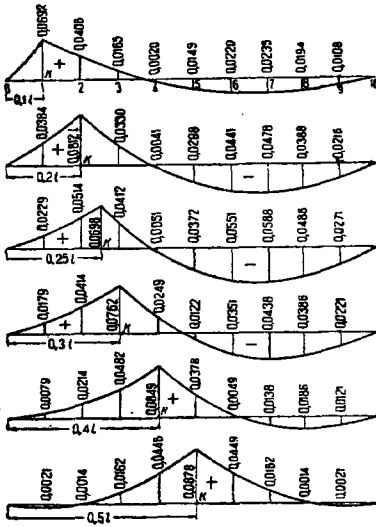


Изгибающие моменты в балке определяются из выражения:

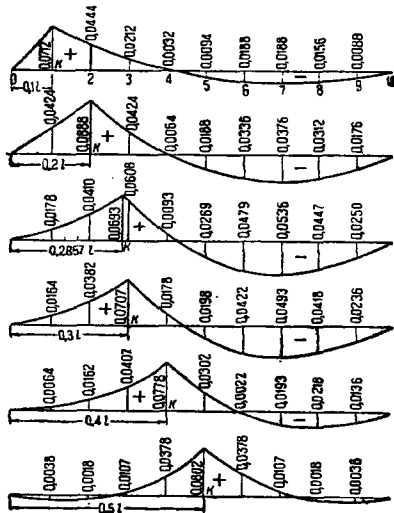
$$M_x = M_0 - H_y, \quad (26)$$

где  $M_0$  — момент в простой балке, а  $y$  — плечо распора в рассматриваемом сечении.

Ниже, на фиг. 27—29, приведены линии влияния изгибающих моментов в точке  $k$  для трех соотношений  $\frac{l}{a}$ .



Фиг. 27



Фиг. 28

в) Учет температуры

При изменении длины горизонтальной проекции шпренгеля на величину  $dl$  приращение распора определяется по формуле:

$$\Delta H_t = \pm \frac{dl}{\delta_{nm}} \quad (27)$$

Перемещение  $\delta_{nm}$  соответствует состоянию, указанному на фиг. 23.

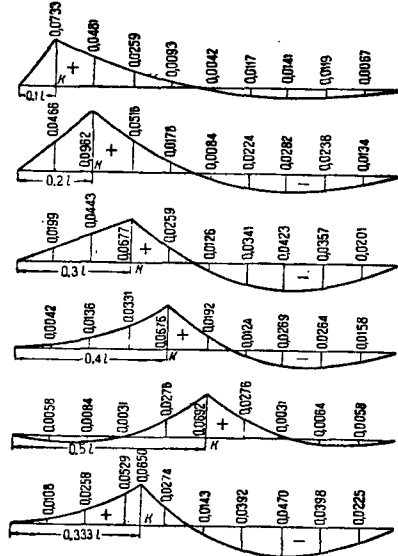
По ф-ле (24):

$$\delta_{nm} = \frac{1,06a^3 \operatorname{tg}^3 \alpha}{3E_6 I_6} (3l - 4a).$$

Приращение длины горизонтальной проекции шпренгеля при разности температур  $\Delta t^\circ$  находится обычным способом:

$$dl = \beta \Delta t^\circ \left[ l - 2a \left( 1 - \frac{1}{\cos^2 \alpha} \right) \right], \quad (28)$$

где  $\beta = 0,000011$  — коэффициент линейного расширения стали 3.



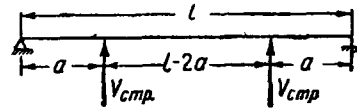
Фиг. 29

Фиг. 27, 28, 29. Ординаты линий влияния изгибающих моментов в верхнем поясе шпренгельной балки в долях от  $l$  (соответственно фиг. 24, 25 и 26)

Подставляя в ф-лу (27) вместо  $dl$  и  $\delta_{nm}$  их значения, после преобразования получим:

$$\Delta H_t = \pm \frac{0,000011 \Delta t^\circ \left[ l - 2a \left( 1 - \frac{1}{\cos^2 \alpha} \right) \right]}{h^3 (3l - 4a)} \cdot E_6 I_6 \quad (29)$$

Величина  $\Delta H_t$  в обычных случаях не превышает 2—3% от  $H$ , поэтому при определении расчетных усилий влияние нормальных температурных колебаний не учитывается.



Фиг. 30

г) Учет строительного подъема

Усилия, возникающие в элементах системы от строительного подъема, придаваемого балке путем натяжения шпренгеля винтовой муфтой, могут быть определены из рассмотрения деформаций.

Прогиб простой балки по середине пролета от двух сосредоточенных сил  $V_{cmp}$  (фиг. 30) равен:

$$y = \frac{V_{cmp} a^3}{24 E_6 I_6} \left( 3 \frac{l^2}{a^2} - 4 \right). \quad (30)$$

В данном случае сосредоточенными силами  $V_{стр}$  являются усилия в стойках, определяемые по Ф-ле (25):  
при

$$\frac{y}{l} = \frac{1}{1000}$$

имеем:

$$V_{стр} = \frac{3E_G I_G l}{125a^3 (3 \frac{l^2}{a^2} - 4)} \quad (31)$$

и следовательно

$$H_{стр} = \frac{3E_G I_G l}{125h (3 \frac{l^2}{a^2} - 4a^2)} \quad (32)$$

3) Пример расчета (Фиг. 16—21)

а) Расчетные данные

Пролет балки  $l = 6,00$  м, грузоподъемность крана  $P_k = 5,0$  т, пролет моста  $18,0$  м. Давление на одно колесо  $P = 6,6$  т. База крана  $k = 2,315$  т. Вес тележки  $P_m = 1,95$  т. Тормозная сила от тележки с грузом на одно колесо  $S = 0,174$  т. Собственный вес балки и кранового пути  $g = 0,12$  т/м.

Расчетная схема изображена на Фиг. 31.

Угол наклона тяга в крайних панелях:

$$\alpha = \arctg \frac{1,20}{1,50} = 39^\circ 40',$$

$$\cos \alpha = 0,781.$$

б) Определение усилий

Распор  $H$  в шпренгеле и изгибающие моменты в балке находятся по линиям влияния для схемы 1 (Фиг. 24 и 27).

Схемы загрузки линий влияния и результаты проделанных вычислений приведены ниже.

Таблица М и Н

| Сечение | Схема загрузки | $\Sigma \eta_k$ | $\Sigma \eta_m$ | $M = P \Sigma \eta_k$<br>в кгм | $N = P \Sigma \eta_m$<br>в кг |
|---------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 0,11    |                | 0,415           | 0,261           | 2 740                          | 1 720                         |
| 0,21    |                | 0,487           | 0,493           | 3 220                          | 3 260                         |
| 0,251   |                | 0,418           | 0,589           | 2 760                          | 3 890                         |
| 0,31    |                | 0,457           | 0,669           | 3 020                          | 4 410                         |
| 0,41    |                | 0,509           | 0,776           | 3 360                          | 5 120                         |
| 0,51    |                | 0,515           | 1,108           | 3 400                          | 7 310                         |
| 0,51    |                | 0,240           | 1,360           | 1 580                          | 8 970                         |

Распор от постоянной нагрузки находится как произведение площади линии влияния на интенсивность равномерно распределенной нагрузки:

$$H_g = 0,105 \frac{l^2}{h} g =$$

$$= 0,105 \frac{6,00^2}{1,20} \cdot 120 = 378 \text{ кг.}$$

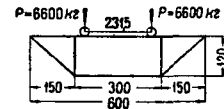
в) Расчет элементов конструкции

Балка запроектирована из двух брусьев сечением  $22 \times 25$  см.

Моменты инерции:

$$I_x = 57 292 \text{ см}^4,$$

$$I_y = 2I_1 = 44 366 \text{ см}^4.$$



Фиг. 31. Расчетная схема балки

Моменты сопротивления:

$$W_x = 4 584 \text{ см}^3,$$

$$W_y = 2W_1 = 4 034 \text{ см}^3.$$

Площадь поперечного сечения балки:

$$F = 1 100 \text{ см}^2.$$

Радиус инерции:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}} = 6,35 \text{ см.}$$

Свободная длина при продольном изгибе  $l_y = 600$  см:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{r_y} = 94,5;$$

$$\varphi_y = 0,34.$$

Наибольший изгибающий момент от крановой нагрузки:

$$M_k = P \Sigma \eta_k = 3 400 \text{ кгм}$$

(см. таблицу М и Н).

Соответствующий распор:

$$H_k = 7 340 \text{ кг.}$$

Дополнительный распор от строительного подъема  $f = \frac{1}{1000} l$ :

$$H_{стр} = \frac{3EI_g l}{125h (3 \frac{l^2}{a^2} - 4a^2)} =$$

$$= \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 57 292 \cdot 600}{125 \cdot 120 (3 \cdot 600^2 - 4 \cdot 150^2)} = 690 \text{ кг.}$$

Расчетное сжимающее усилие в балке по абсолютной величине равно распору  $H$ :

$$N = H_k + H_g + H_{стр} = 8 380 \text{ кг.}$$

Изгибающий момент от поперечного торможения в середине пролета при расчетном нагружении балки:

$$M_T = \frac{174}{6,00} \cdot 3,00 (3,00 + 0,69) = 32 \text{ кгм.}$$

Напряжение:

$$n_u = \frac{M_k}{W_x} + \frac{N[n_u]}{F\varphi[n_u]} + \frac{M_T}{W_y} = \frac{340\,000}{4\,584} + \frac{8\,380 \cdot 110}{1\,100 \cdot 0,34 \cdot 100} + \frac{32\,000}{4\,034} = 106,5 > 100 \text{ кг/см}^2$$

(перенапряжение 6,5%).

Нормальные напряжения изгиба в брусках балки от строительного подъема в запас прочности не учитываются.

Тяж из стали 3 принят диаметром  $d = 38$  мм с осадкой концов под нарезку до  $d_0 = 45$  мм.

Площадь поперечного сечения тяжа  $\omega = 11,3 \text{ см}^2$ . Рабочая площадь по нарезке  $\omega_0 = 11,3 \text{ см}^2 = \omega$ . Допускаемое напряжение для одиночных тяжей с нарезкой на утолщенных концах  $[n_+] = 0,9 \cdot 1\,400 = 1\,260 \text{ кг/см}^2$ . Наибольшее значение распора соответствует в данном случае симметричному нагружению балки (см. таблицу М и Н):

$$H_k = 8\,970 \text{ кг.}$$

Расчетная величина распора:

$$H = H_k + H_g + H_{стр} = 10\,040 \text{ кг.}$$

Усилие в крайней панели тяжа:

$$S_{max} = \frac{H}{\cos \alpha} = \frac{10\,040}{0,781} = +13\,330 \text{ кг.}$$

Напряжение:

$$n_+ = \frac{13\,330}{11,3} = 1\,180 \text{ кг/см}^2 < 1\,260 \text{ кг/см}^2.$$

Усилие тяжа передается торцу балки через обрешку швеллера № 12 длиной 20 см.

Допускаемое напряжение на смятие при угле  $\alpha = 29^\circ 40'$ :

$$[n_c]_a = 55 \text{ кг/см}^2.$$

Расчетное напряжение:

$$n_c = \frac{13\,330}{12 \cdot 20} = 55,5 \text{ кг/см}^2.$$

Стойки сечением  $22 \times 25$  см как заведомо удовлетворяющие условиям прочности и устойчивости расчетом не проверяются. При сопряжении стоек с балкой сквозным шипом толщиной 6,0 см площадь смятия балки торцами стойки равна:

$$\omega_c = 2 \cdot 9,5 \cdot 22 = 418 \text{ см}^2.$$

Напряжение смятия:

$$n_c = \frac{H \operatorname{tg} \alpha}{\omega_c} = \frac{8\,300}{418} = 20 \text{ кг/см}^2.$$

Наибольшее значение опорной реакции:

$$A_{max} = 6\,600 \left( 1 + \frac{6,00 - 2,31}{6,00} \right) \approx 11\,000 \text{ кг.}$$

Необходимая площадь опирания балки:

$$\omega_0 = \frac{11\,000}{22 \cdot 5} = 490 \text{ см}^2.$$

Упругий прогиб балки в горизонтальной плоскости от тормозных сил:

$$\frac{y}{l} = \frac{\eta S l^2}{E I_y}.$$

По табл. 3 для

$$\frac{k}{l} = \frac{2,315}{6,00} = 0,4$$

находим коэффициент  $\eta = 0,033$  и

$$\frac{y}{l} = \frac{0,033 \cdot 174 \cdot 600^2}{10^6 \cdot 44\,366} = \frac{1}{2\,130}.$$

Спецификация дерева на одну балку

| №               | Наименование         | Сечение в см | Длина в м | Количество | Общая длина м | Объем в м <sup>3</sup> |
|-----------------|----------------------|--------------|-----------|------------|---------------|------------------------|
| 1               | Пояс балки . . . . . | 22×25        | 6,0       | 2          | 12,0          | 0,66                   |
| 2               | Стойки . . . . .     | 22×25        | 1,3       | 2          | 2,6           | 0,14                   |
| 3               | Подкладки . . . . .  | 6×15         | 0,54      | 2          | 1,08          | 0,01                   |
| Итого . . . . . |                      |              |           |            |               | 0,81                   |

Спецификация металла на одну балку

| №               | Наименование                          | Сечение в мм | Длина в мм | Количество | Вес в кг |
|-----------------|---------------------------------------|--------------|------------|------------|----------|
| 1               | Тяж шпирегеля . . . . .               | ∅ 38         | 6 750      | 1          | 60 40    |
| 2               | Гайка тяжа . . . . .                  | ∅ 44,45      | —          | 2          | 5,72     |
| 3               | Швеллер . . . . .                     | № 12         | 200        | 2          | 5,41     |
| 4               | Стяжная муфта . . . . .               | ∅ 45         | 400        | 1          | 4,03     |
| 5               | Болты пояса с шайбами . . . . .       | ∅ 12,7       | 460        | 8          | 5,17     |
| 6               | Болты крепления к колонне . . . . .   | ∅ 12,7       | 1 400      | 1          | 1,49     |
| 7               | Шайба к ним $\delta = 5$ . . . . .    | 100×100      | —          | 1          | 0,39     |
| 8               | Башмаки стоек $\delta = 10$ . . . . . | 100×410      | —          | 2          | 6,44     |
| 9               | Гвозди . . . . .                      | ∅ 4,0        | 80         | 32         | 0,25     |
| 10              | Болт башмака с шайбой . . . . .       | ∅ 12,7       | 2:0        | 2          | 0,5      |
| Итого . . . . . |                                       |              |            |            | 90,15    |

## 5. Балка системы Гау

### 1) Конструкция

Оптимальное решение этой конструкции получается при сочетании брусчатой балки с упрощенной трехпанельной фермой Гау, имеющей перекрестные раскосы только в средней панели (фиг. 32).

Балка конструируется из двух брусков, сплавляемых по ширине горизонтальными болтами, и по характеру работы является трехпролетной неразрезной.

Опорами балки служат узлы верхнего пояса фермы и опорные стойки.

Средний пролет балки, соответствующий по величине средней панели фермы, принимается по экономическим и конструктивным соображениям на 20% длиннее крайних пролетов.

Конструкция эта существенно отличается от обычной фермы Гау, применяемой в мостостроении. Опорный узел конструируется на щечковых врубках (фиг. 33), в связи с этим нижний пояс и раскосы фермы проектируются составного сечения из досок. При трехветвевом сечении средняя доска и силовые прокладки крайних раскосов заменяются брусом, имеющим на одном конце шип, упирающийся в щечковые торцы прокладок опорного узла. Узловые прокладки и накладки соединяются с нижним поясом гвоздями; обязательна постановка стяжных болтов.

Перекрестные раскосы имеют также составное сечение, но не более как из двух досок, врубаемых в месте пересечения вполдерева с симметричным ослаблением сечений (фиг. 34). С нижним поясом они соединяются торцевым упором в удлиненные для этой цели прокладки опорного узла (фиг. 33), а с верхним поясом — простым одиночным зубом (фиг. 35).





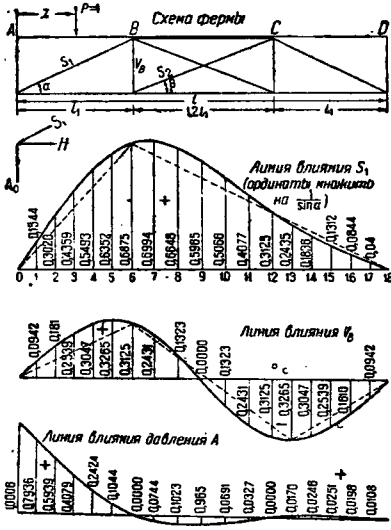
Усилие в нижнем поясе:

$$H = S_1 \cos \alpha. \quad (40)$$

Усилие в средних раскосах:

$$S_2 = -\frac{V}{\sin \beta}, \quad (41)$$

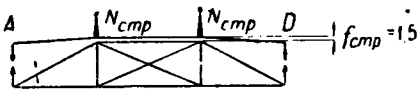
при этом  $V$  всегда больше нуля.



Фиг. 41. Линии влияния усилий в балке типа Гау

б) Учет строительного подъема

Придание балке строительного подъема схематически изображено на фиг. 42.



Фиг. 42. Схема придания балке строительного подъема

Прогиб балки  $AD$  посредине от двух сосредоточенных сил  $N_{стр}$ , симметрично расположенных в пролете:

$$y = \frac{N_{стр} l_1^3}{24EI} \left( \frac{3l_2}{l_1^2} - 4 \right); \quad (42)$$

при  $v = \frac{l}{400}$  и при  $l_1 = 0,3125l$  имеем:

$$N_{стр} = \frac{EI}{13,6l^2}. \quad (43)$$

Таким образом усилия, возникающие в элементах фермы в результате придания строительного подъема, равны:  
в крайних раскосах:

$$S_{1стр} = \frac{N_{стр}}{\sin \alpha} = \frac{EI}{13,6l^2 \sin \alpha}; \quad (44)$$

в нижнем поясе:

$$H_{стр} = \frac{EI}{13,6l^2 \operatorname{tg} \alpha}, \quad (45)$$

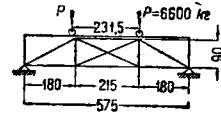
где  $EI$  — жесткость балки.

3) Пример расчета (фиг. 32—36)

а) Расчетные данные

Пролет балки  $l = 5,75$  м. Грузоподъемность крана  $P_2 = 5,0$  т. Пролет моста  $18,0$  м. Давление на одно колесо  $P = 6,60$  т. База крана  $k = 2,315$  м. Вес тележки  $P = 1,95$  т. Тормозная сила от тележки с грузом на одно колесо  $S = 174$  кг. Пиломатериал — полусухая сосна.

Схема балки изображена на фиг. 43.



Фиг. 43. Схема балки и нагрузки

Угол наклона крайних раскосов:

$$\alpha = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{0,90}{1,80} = 26^\circ 34';$$

$$\sin \alpha = 0,447;$$

$$\cos \alpha = 0,894.$$

Теоретическая длина раскоса  $s_1 = 2,01$  м. Угол наклона внутренних раскосов  $\beta = 22^\circ 43'$ ;  $\sin \beta = 0,386$ ;  $\cos \beta = 0,922$ ; длина  $s_2 = 2,33$  м.

б) Расчет брусчатой балки

Расчетные изгибающие моменты от вертикальной нагрузки определяются по линиям влияния. Результаты вычислений приведены в таблице  $M$ .

Таблица  $M$

| Расчетные сечения         | Схема загрузки балки для получения $M_{\max}$ | Сумма ординат $\Sigma \eta_m$ | $M_{\max} = P \Sigma \eta_m$<br>кгм |
|---------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------------|
| Середина крайнего пролета |   | + 0,204 $l_1$                 | + 2 420                             |
| Средняя опора             |   | - 0,169 $l_1$                 | - 2 075                             |
| Середина среднего пролета |   | + 0,1785 $l_1$                | + 2 120                             |

Изгибающие моменты от тормозных сил, действующих в горизонтальной плоскости, для рассматриваемых сечений соответственно равны:

$$M_1 = \frac{5,75 - 0,90}{5,75} \cdot 174 \cdot 0,90 = 132 \text{ кгм};$$

$$M_2 = \left[ \frac{0,615 + 0,615 + 2,315}{5,75} (1,80 + 2,15) - (2,15 - 1,02) \right] \cdot 174 = 228 \text{ кгм};$$

$$M_3 = \frac{0,56 + 0,56 + 2,315}{5,75} \cdot 174 \left( \frac{2,15}{2} + 1,80 \right) = 298 \text{ кгм}.$$

Балка составлена из двух брусьев размером  $16 \times 22 \text{ см}$ ; для такой балки: моменты инерции  $I_x = 28\,394 \text{ см}^4$ ,  $I_y = 2I_1 = 16\,522 \text{ см}^4$  и моменты сопротивления  $W_x = 2\,582 \text{ см}^3$ ,  $W_y = 2W_1 = 1\,876 \text{ см}^3$ .

На средних опорах брусья ослаблены двумя тяжами  $d = 16 \text{ мм}$ .

С учетом ослабления

$$W_{x \text{ нетто}} = 2\,330 \text{ см}^3.$$

Суммарные напряжения

В середине крайних пролетов:

$$n_u = \frac{242\,000}{2\,582} + \frac{13\,200}{1\,876} = 101 \text{ кг/см}^2.$$

В середине среднего пролета:

$$n_u = \frac{212\,000}{2\,582} + \frac{29\,800}{1\,876} = 98 \text{ кг/см}^2.$$

На средних опорах:

$$n_u = \frac{207\,500}{2\,330} + \frac{22\,800}{1\,876} = 101 \text{ кг/см}^2.$$

в) Расчет фермы

Усилия в элементах фермы от крановой нагрузки определяются также по линиям влияния.

Таблица усилий от крановой нагрузки

| Усилия  | Схема загрузки балки для получения максимума | Сумма ординат $\Sigma \eta$   | Величина усилия кг |
|---------|--|-------------------------------|--------------------|
| $S_1^P$ |  | $-\frac{1,0902}{\sin \alpha}$ | - 16 100           |
| V       |  | + 0,3265                      | + 2 160            |
| $N^P$   |  | + 0,0251                      | + 166              |

Усилия от строительного подъема находятся по ф-лам (43) и (44):

$$N_{стр} = \frac{10^5 \cdot 28\,394}{13,6 \cdot 600^2} = + 580 \text{ кг}.$$

$$S_{1 \text{ стр}} = \frac{580}{0,447} = - 1\,300 \text{ кг}.$$

г) Расчетные усилия

В крайних раскосах:

$$S_1 = - 16\,100 - 1\,300 = - 17\,400 \text{ кг}.$$

В нижнем поясе:

$$H_{\max} = - S_1 \cos \alpha = 17\,400 \cdot 0,894 = + 15\,550 \text{ кг}.$$

В тяжах:

$$V = + 2\,160 \text{ кг}.$$

В средних раскосах:

$$S_2 = \frac{V}{\sin \beta} = \frac{2\,160}{0,386} = - 5\,600 \text{ кг}.$$

В опорных стойках: растяжение:

$$N_1 = + 166 + 580 = + 746 \text{ кг};$$

сжатие:

$$N_2 = - 6\,600 \text{ кг}.$$

Максимальное давление на опору фермы:

$$A = 6\,600 \left( 1 + \frac{5,75 - 2,315}{5,75} \right) = 10\,520 \text{ кг}.$$

д) Расчет элементов конструкции

Крайние раскосы запроектированы составного сечения из двух досок  $4 \times 20 \text{ см}$ , обжимающих брус  $12 \times 20 \text{ см}$  (фиг. 33).

Свободная длина при продольном изгибе:

$$l_S = 201 \text{ см}.$$

Площадь сечения:

$$F = 20(4 + 12 + 4) = 400 \text{ см}^2.$$

Момент инерции:

$$I_y = \frac{20^4}{12 \cdot 1,1k_c} = \frac{20^4}{12 \cdot 1,1 \cdot 1,03} = 11\,770 \text{ см}^4;$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}} = 5,43 \text{ см},$$

$$\lambda_y = \frac{201}{5,43} = 37,$$

$$\varphi_y = 0,74;$$

напряжение:

$$n_- = \frac{17\,400}{400 \cdot 0,74} = 59 < 90 \text{ кг/см}^2.$$

Сумма сил сдвига на длине раскоса:

$$2T_0^{1/2} = 1,03 \frac{4 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 110}{10 \cdot 100} \left( \frac{1}{0,74} - 1 \right) \frac{17\,400}{400} \cdot 2 = 2\,210 \text{ кг}.$$

Доски соединены с брусом гвоздями  $d = 4,0$ ,  $l = 100 \text{ мм}$ .

Допускаемое усилие на один срез гвоздя по изгибу:

$$T_{гв} = 289d^2 = 289 \cdot 0,4^2 = 46 \text{ кг}.$$

Необходимое число гвоздей:

$$m = \frac{2\,210}{46} = 48 \text{ шт}.$$

Средние раскосы имеют сечение из двух досок  $6 \times 20 \text{ см}$ , соединенных между собой гвоздями  $d = 4,0$ ,  $l = 100 \text{ мм}$ , а в месте пересечения — врубкой вполдерева с симметричным ослаблением сечения (фиг. 34).

Свободная длина при продольном изгибе:

$$l_y = 233 \text{ см.}$$

Площадь сечения в месте ослабления:

$$F'_n = 0,5 \cdot 12 \cdot 20 = 120 \text{ см}^2.$$

Радиус инерции сечения определяется с учетом момента инерции второго раскоса:

$$r_y = \sqrt{\frac{2I_y}{F_{\text{брутто}}}}.$$

Момент инерции:

$$I_y = \frac{12^3 \cdot 20}{12 \cdot 1,1 \cdot 1,03} = 2590 \text{ см}^4;$$

$$r_y = \sqrt{\frac{2 \cdot 2590}{240}} = 4,75 \text{ см.}$$

Гибкость:

$$\lambda_y = \frac{233}{4,75} = 49$$

и

$$\varphi_y = 0,65.$$

Напряжение:

$$n'_- = \frac{5600}{\frac{4}{3} \cdot 120 \cdot 0,65} = 54 < 90 \text{ кг/см}^2;$$

$$n'_+ = \frac{5600}{120} = 47 \text{ кг/см}^2.$$

Сумма сил сдвига по шву между досками на длине раскоса:

$$\times \frac{6 \cdot 20 \cdot 3 \cdot 110}{6 \cdot 100} \left( \frac{1}{0,65} - 1 \right) \frac{5600 \cdot 2}{\frac{4}{3} \cdot 120} = 2520 \text{ кг.}$$

Необходимое число гвоздей для восприятия этой силы:

$$m = \frac{2520}{46} = 55 \text{ шт.}$$

Ригель запроектирован из целого бруса  $20 \times 20 \text{ см}$  (фиг. 35). Усилие, действующее в нем,  $N_p = -H = -15550 \text{ кг}$ .

Свободная длина при продольном изгибе:

$$l_p = 215 \text{ см;}$$

$$\frac{l}{h} = \frac{215}{20} = 10,75;$$

$$\varphi = 0,73.$$

Напряжение:

$$n_- = \frac{15550}{20 \cdot 20 \cdot 0,73} = 53 < 90 \text{ кг/см}^2.$$

Нижний пояс имеет сечение в три доски  $4 \times 20 \text{ см}$  (фиг. 33).

При учете ослабления сечения гвоздями площадь:

$$F'_n = 0,85 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 20 = 204 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$n_+ = \frac{15550}{204} = 76 \text{ кг/см}^2.$$

Средние растянутые стойки запроектированы из двойных тяжей  $d = 16 \text{ мм}$  (фиг. 35).

Рабочая площадь сечения по нарезке:

$$2\omega_n = 2,62 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$n_+ = \frac{2160}{2,62} = 823 \text{ кг/см}^2.$$

Опорный узел фермы сконструирован на щеновой врубке (фиг. 33). Площадь скалывания в накладках и прокладках при высоте  $22 \text{ см}$  и при длине скалывания, равной семикратной глубине врезки:

$$\omega_t = 14 \cdot 22 \cdot 6 = 1848 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$t = \frac{15550}{1848} = 8,4 \text{ кг/см}^2.$$

При биссектрисной врубке допускаемое напряжение на смятие:

$$[n_c]_{13^\circ} = 0,9 \cdot 70 = 63 \text{ кг/см}^2.$$

В данном случае:

$$n_c = \frac{15550}{240} = 65 \text{ кг/см}^2.$$

Перенапряжение  $3\% < 5\%$ .

Крепление накладок и прокладок к нижнему поясу осуществлено на гвоздях  $d = 5,5 \text{ мм}$ ,  $l = 175 \text{ мм}$ .

Допускаемое усилие на один срез:

$$T_{se} = 0,5 \cdot 0,55 \cdot 4,0 \cdot 72 = 79 \text{ кг.}$$

Необходимое число гвоздей с каждой стороны пояса:

$$m = \frac{15550}{79 \cdot 6} = 33 \text{ шт.}$$

Средние раскосы соединяются с нижним поясом торцевым упором их в удлиненные прокладки опорного узла.

В ригель раскосы врублены одиночным зубом (фиг. 35).

Допускаемое напряжение на смятие при биссектрисной врубке:

$$[n_c]_{11^\circ 22'} = 0,9 \cdot 73 = 66 \text{ кг/см}^2.$$

Глубина врубки:

$$h_s = \frac{5600 \cos \beta}{12 \cdot 65,6} = 6,6 \text{ см.}$$

Горизонтальная составляющая усилия в раскосе:

$$H_S = S_2 \cos \alpha = 5600 \cdot 0,922 = 5160 \text{ кг.}$$

Длина скалываемой площадки ригеля:

$$l_t = 35 \text{ см.}$$

Напряжение:

$$t = \frac{5160}{20 \cdot 35} = 7,4 \text{ кг/см}^2.$$

Средние тяжи фермы передают усилие нижнему поясу через коротыши из досок шириной  $22 \text{ см}$  (фиг. 33).

Напряжение смятия нижнего пояса:

$$n_c = \frac{2160}{3 \cdot 4 \cdot 22} = 8,2 < 22,5 \text{ кг/см}^2.$$

Опорные стойки как заведомо удовлетворяющие условиям прочности расчетом не повернутся.

Упругий прогиб балки в горизонтальной плоскости под расчетной нагрузкой по середине пролета:

$$\frac{f}{l} = \frac{\eta S l^2}{EI} = \frac{0,033 \cdot 174 \cdot 575^2}{10^6 \cdot 16522} = \frac{1}{870}.$$



Спецификация дерева на одну балку

| №           | Наименование           | Сечение в см | Длина в м | Кол-во ство | Объем в м <sup>3</sup> |
|-------------|------------------------|--------------|-----------|-------------|------------------------|
| 1           | Балка                  | 16×22        | 6,00      | 2           | 0,420                  |
| 2           | Ригель                 | 20×20        | 2,13      | 1           | 0,087                  |
| 3           | Крайние раскосы        | 4×20         | 2,05      | 4           | 0,066                  |
| 4           | »                      | 12×20        | 2,05      | 2           | 0,099                  |
| 5           | Средние »              | 6×20         | 2,17      | 4           | 0,104                  |
| 6           | Нижний пояс            | 4×20         | 5,62      | 3           | 0,135                  |
| 7           | Стойки                 | 10×20        | 0,87      | 4           | 0,071                  |
| 8           | Накладки опорного узла | 6×22         | 1,43      | 4           | 0,076                  |
| 9           | Прокладки              | 8×22         | 2,04      | 4           | 0,144                  |
| 10          | Подкладки под тяжи     | 10×20        | 0,12      | 2           | 0,005                  |
| 11          | Опорные подушки        | 10×20        | 0,30      | 2           | 0,012                  |
| Итого . . . |                        |              |           |             | 1,22                   |

Спецификация металла на одну балку

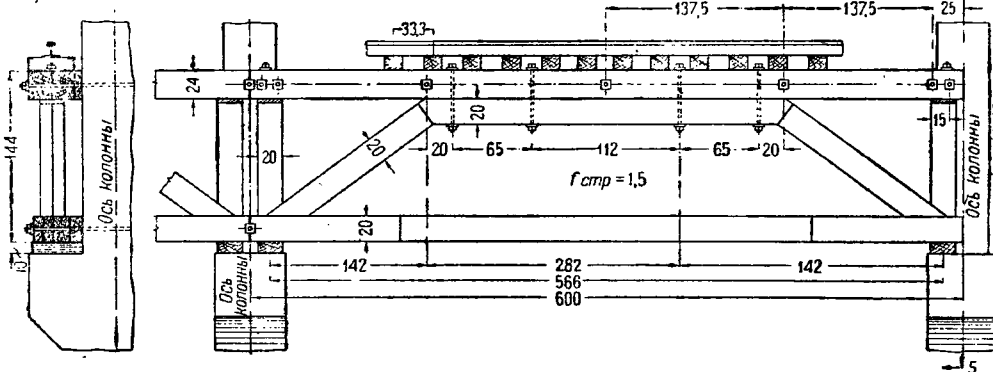
| №           | Наименование          | Диаметр в мм | Длина в мм | Кол-во ство | Вес в кг |
|-------------|-----------------------|--------------|------------|-------------|----------|
| 1           | Тяжи                  | 16           | 1450       | 4           | 10,27    |
| 2           | »                     | 16           | 1420       | 2           | 5,04     |
| 3           | Болты                 | 12           | 225        | 14          | 5,60     |
| 4           | »                     | 12           | 305        | 16          | 7,67     |
| 5           | »                     | 2            | 445        | 2           | 1,24     |
| 6           | »                     | 12           | 345        | 8           | 4,16     |
| 7           | » крепления к колонне | 12           | —          | —           | 1,49     |
| 8           | Гвозди                | 5,5          | 175        | 124         | 4,05     |
| 9           | »                     | 4,0          | 100        | 260         | 1,93     |
| Итого . . . |                       |              |            |             | 41,45    |

6. Ригельно-подкосная балка

1) Конструкция

Балки этой системы являются простейшей и наиболее экономичной конструкцией по сравнению

Разрез по А-Б



Фиг. 44. Ригельно-подкосная балка

нию со всеми остальными за исключением балок на пластинчатых нагелях.

Конструкция элементов этой балки и узловых ее соединений аналогична описанной выше конструкции балки системы Гау кроме перекрестных раскосов и средних тяжей, которые здесь отсутствуют (фиг. 44—47).

Равенство расчетных напряжений в средней и

крайних панелях балки получается при соотношении длин панелей около 1 : 2 : 1. При таком соотношении распор имеет небольшую величину, допускающую конструирование опорных узлов на щечковых врубках (фиг. 45). Строительная высота балки составляет от 1/8 до 1/4 пролета.

При изготовлении балок рекомендуется придавать им конструктивный строительный подъем в 1/400 пролета. Регулирование профиля пути осуществляется так же, как и в системе Гау.

2) Статический расчет

Ригельно-подкосная система один раз статически неопределима. За лишнюю неизвестную проще всего принять усилие *H* в затяжке. Основная статически определяемая система изображена на фиг. 48, фиктивное состояние — на фиг. 49. Рассматривая эти два состояния системы, замечаем, что статическая схема ригельно-подкосной балки тождественна схеме шпренгельной балки (см. выше). Разница заключается только в том, что здесь отсутствуют сжатые стойки и затяжка балки имеет другие модуль упругости и площадь поперечного сечения. В связи с тем, что эти факторы мало влияют на величину усилий, возникающих в элементах системы, определение распора *H* производится по формулам, выведенным для шпренгельных балок. Линии влияния изгибающих моментов тоже остаются без изменения.

Усилие в опорной стойке балки определяется как давление на опору в простой балке пролетом *l*, нагруженной по схеме, приведенной на фиг. 50.

Силы *C* — вертикальные составляющие усилий в раскосах от нагрузки *P*.

Опорная реакция:

$$V = \frac{l-x}{l} P - C,$$

при *P* = 1 имеем:

$$\eta_v = \frac{l-x}{l} - \eta_c. \tag{46}$$

Величина *C* определяется через распор *H*:

$$\eta_c = \eta_n \operatorname{tg} \alpha. \tag{47}$$

При этом ф-ла (46) принимает вид:

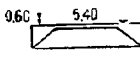
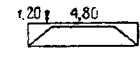
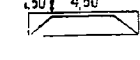
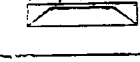
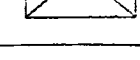
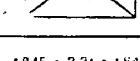

$$\eta_v = \frac{l-x}{l} - \eta_n \operatorname{tg} \alpha. \tag{48}$$

Для соотношения длин панелей балки 1 : 2 : 1 линия влияния *V* приведена на фиг. 51.



ным на фиг. 24 и 27. Порядок вычислений и результаты приведены ниже.

Таблица М и П<sub>к</sub>

| Сечение | Схема загрузки  | $\Sigma \eta_M$ | $\Sigma \eta_N$ | $P \Sigma \eta_M$<br>в кгм | $P \Sigma \eta_N$<br>в кг |
|---------|---|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------------|
| 0,1     |    | 0,415           | 0,313           | 2 740                      | 2 060                     |
| 0,2     |    | 0,487           | 0,592           | 3 260                      | 3 900                     |
| 0,35    |    | 0,418           | 0,706           | 2 760                      | 4 660                     |
| 0,30    |    | 0,457           | 0,803           | 3 020                      | 5 300                     |
| 0,40    |    | 0,509           | 0,931           | 3 360                      | 6 140                     |
| 0,50    |    | 0,515           | 1,330           | 3 400                      | 8 780                     |
| 0,50    |  | 0,245           | 1,630           | 1 620                      | 10 750                    |

Распор от постоянной нагрузки находится как произведение площади линии влияния (фиг. 24) на интенсивность равномерно распределенной нагрузки:

$$H_g = 0,105 \cdot \frac{6,00^2}{1,00} \cdot 120 = 454 \text{ кг.}$$

в) Расчет элементов конструкции

Прогон запроектирован из двух брусев  $20 \times 24 \text{ см}$  (фиг. 46 и 47).

Моменты инерции:

$$I_x = 46 080 \text{ см}^4 \text{ и } I_y = 32 000 \text{ см}^4.$$

Моменты сопротивления:

$$W_x = 3 840 \text{ см}^3 \text{ и } W_y = 3 200 \text{ см}^3.$$

Наибольший изгибающий момент от крановой нагрузки:

$$M = 3 400 \text{ кгм};$$

от тормозных сил:

$$M_T = \frac{174}{6,00} \cdot 3,00 (3,00 + 0,69) = 320 \text{ кгм.}$$

Напряжение при изгибе:

$$n_u = \frac{340 000}{3 840} + \frac{32 000}{3 200} = 99 \text{ кг/см}^2.$$

Ригель из целого бруса сечением  $20 \times 20 \text{ см}$  (фиг. 47). Сжимающее усилие в ригеле равно по абсолютной величине распору в затяжке.

Для принятого сечения распора прогона от строительного подъема [см. ф-лу (51)]:

$$H_{стр} = \frac{10^5 \cdot 46 080}{45,8 \cdot 100 \cdot 600} = 1 680 \text{ кг.}$$

Расчетная величина распора:

$$H = H_k + H_g + H_{стр} = 10 750 + 454 + 1 680 = 12 884 \text{ кг.}$$

Свободная длина ригеля при продольном изгибе  $l = 300 \text{ см}$ :

$$\frac{l}{h} = \frac{300}{20} = 15$$

и

$$\varphi = 0,63.$$

Напряжение:

$$n_- = \frac{12 884}{400 \cdot 0,63} = 51 \text{ кг/см}^2.$$

Подкосы запроектированы составного сечения из двух досок по  $4 \times 20 \text{ см}$ , обжимающих брус  $12 \times 20 \text{ см}$  (фиг. 45).

Свободная длина при продольном изгибе:

$$l_y = \frac{1,50}{\cos \alpha} = \frac{1,50}{0,832} = 1,80 \text{ м.}$$

Площадь сечения:

$$F = 400 \text{ см}^2.$$

Момент инерции:

$$I = \frac{20^4}{12 \cdot 1,1 \cdot 1,03} = 11 770 \text{ см}^4;$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}} = 5,43 \text{ см};$$

$$\lambda_y = \frac{180}{5,43} = 33$$

и

$$\varphi_y = 0,77.$$

Напряжение:

$$n_- = \frac{15 470}{400 \cdot 0,77} = 50 \text{ кг/см}^2.$$

Сумма сил сдвига на длине подкоса по шву между доской и брусом:

$$2T_0^{1/2} = 1,03 \frac{4 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 110}{10 \cdot 100} \left( \frac{1}{0,77} - 1 \right) \times \\ \times \frac{15 470}{400} \cdot 2 = 1 680 \text{ кг.}$$

Доски соединены с брусом гвоздями  $d = 4,0$ ,  $l = 90 \text{ мм}$ .

Допускаемое усилие на один срез гвоздя:

$$T_{гв} = 46 \text{ кг.}$$

Необходимое число гвоздей:

$$m = \frac{1 680}{46} = 36.$$

Затяжка составлена из трех досок  $4 \times 20 \text{ см}$  (фиг. 45).

При учете ослабления гвоздями:

$$F_n = 0,85 \cdot 12 \cdot 20 = 204 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$n_+ = \frac{12 884}{204} = 63 \text{ кг/см}^2.$$

Опорные стойки составлены из двух досок по  $10 \times 20 \text{ см}$ , между досками заложены тяжи  $d = 22 \text{ мм}$  (фиг. 44). Усилие в стойке от крановой нагрузки определяется по линии влияния (фиг. 51):

$$V_k = + 6 600 (0,1448 + 0,1084) = + 1 670 \text{ кг.}$$

Усилие от строительного подъема по ф-ле (50):

$$V_{стр} = \frac{10^5 \cdot 46 080}{11,43 \cdot 600^2} = + 1 100 \text{ кг.}$$

Расчетная величина растягивающего усилия:

$$V = V_k + V_{стр} = 4\ 2780 \text{ кг.}$$

Сжимающее усилие:

$$V = -6\ 600 \text{ кг.}$$

Рабочая площадь тяжа по нарезке:

$$\omega_n = 2,72 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$n_+ = \frac{2\ 780}{2,72} = 1\ 020 \text{ кг/см}^2.$$

Площадь смятия прогона торцом стойки:

$$F = 20 \cdot 20 = 400 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$n_c = \frac{6\ 600}{400} = 16,5 \text{ кг/см}^2.$$

Подкос соединяется с затяжкой щеконой врубкой (фиг. 45).

Площадь скалывания в накладках и прокладках при высоте их 20 см и длине скалывания, равной семикратной глубине врубки:

$$\omega_t = 2 \cdot 7 \cdot 20 \cdot 6 = 1\ 680 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$t = \frac{12\ 884}{1\ 680} = 7,7 < 8 \text{ кг/см}^2.$$

Допускаемое напряжение смятия торцов при биссектрисной врубке:

$$[n_c]_{17^\circ} = 0,9 \cdot 64 = 57 \text{ кг/см}^2.$$

В данном случае:

$$n_c = \frac{12\ 884}{12 \cdot 20} = 54 < 57 \text{ кг/см}^2.$$

Крепление накладок и прокладок к затяжке осуществлено на гвоздях  $d = 5,5$ ,  $l = 175$  мм.

Допускаемое усилие на один срез гвоздя:

$$T_{гв} = 79 \text{ кг.}$$

Необходимое число гвоздей с каждой стороны пояса:

$$m = \frac{12\ 884}{79 \cdot 6} = 27 \text{ шт.}$$

Максимальное давление на опору балки:

$$A = 6\ 600 \left( 1 + \frac{6,00 - 2,31}{6,00} \right) = 10\ 900 \text{ кг.}$$

Спецификация материалов на одну балку  
Дерево

| №               | Наименование              | Сечение в см | Длина в м | Кол-во ствол | Объем в м <sup>3</sup> |
|-----------------|---------------------------|--------------|-----------|--------------|------------------------|
| 1               | Прогон . . . . .          | 20×24        | 6,00      | 2            | 0,576                  |
| 2               | Ригель . . . . .          | 20×20        | 3,06      | 1            | 0,122                  |
| 3               | Подкосы . . . . .         | 4×20         | 1,68      | 4            | 0,054                  |
| 4               | » . . . . .               | 12×20        | 1,68      | 2            | 0,081                  |
| 5               | Затяжка . . . . .         | 4×20         | 5,60      | 3            | 0,134                  |
| 6               | Стойки . . . . .          | 10×20        | 0,97      | 4            | 0,078                  |
| 7               | Накладки . . . . .        | 6×20         | 1,28      | 4            | 0,061                  |
| 8               | Прокладки . . . . .       | 8×20         | 1,28      | 4            | 0,082                  |
| 9               | Опорные подушки . . . . . | 10×20        | 0,30      | 2            | 0,012                  |
| Итого . . . . . |                           |              |           |              | 1,20                   |

Площадь опирания должна быть равна:

$$\omega_0 = \frac{10\ 900}{22,5} = 490 \text{ см}^2.$$

Упругий прогиб балки в горизонтальной плоскости от тормозных сил тележки с грузом:

$$\frac{f}{l} = \frac{0,033 \cdot 174 \cdot 600^2}{10^5 \cdot 32\ 000} = \frac{1}{1\ 545}.$$

Металл

| №               | Наименование                        | Диаметр в мм | Длина в мм | Кол-во ствол | Вес в кг |
|-----------------|-------------------------------------|--------------|------------|--------------|----------|
| 1               | Гвозди . . . . .                    | 5,5          | 175        | 110          | 3,59     |
| 2               | » . . . . .                         | 4,0          | 90         | 144          | 1,28     |
| 3               | Болты . . . . .                     | 12           | 225        | 8            | 3,20     |
| 4               | » . . . . .                         | 12           | 425        | 7            | 4,20     |
| 5               | » . . . . .                         | 12           | 460        | 8            | 5,12     |
| 6               | » . . . . .                         | 12           | 305        | 16           | 7,68     |
| 7               | Тяжи . . . . .                      | 22           | 1 550      | 2            | 11,28    |
| 8               | Болты крепления к колонне . . . . . | 12           | —          | —            | 1,49     |
| Итого . . . . . |                                     |              |            |              | 37,84    |

### 7. Двутавровая балка с перекрестной стеной

#### 1) Конструкция

Общепринятая конструкция двутавровых балок, применяемых в перекрытиях промышленных зданий, не может быть в том же виде использована для подкрановых балок, работающих в иных условиях и отличающихся характером действующих нагрузок.

Подкрановые двутавровые балки следует проектировать спаренными (фиг. 54—56) или двустенчатыми при сечении поясов и три ветви.

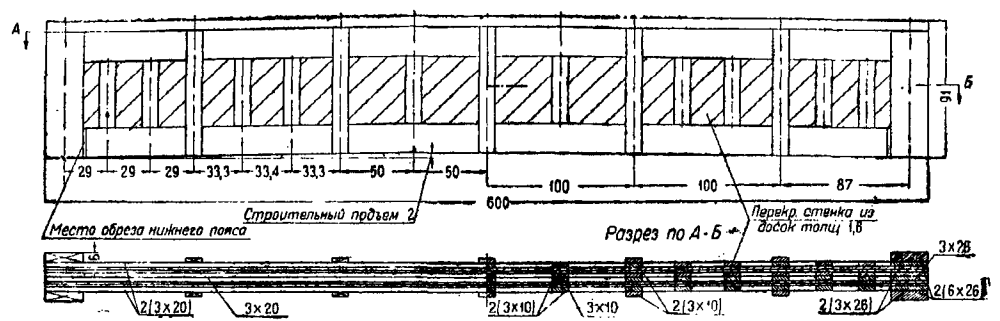
Толщина досок средних ветвей поясов принимается в этом случае вдвое большей, чем крайних.

Спаренные балки ничем по существу не отличаются от двустенчатых, поэтому при выборе типа двутавровой балки можно руководствоваться только экономическими соображениями, а также и возможностью получения на строительстве нужного сортамента пиломатериалов.

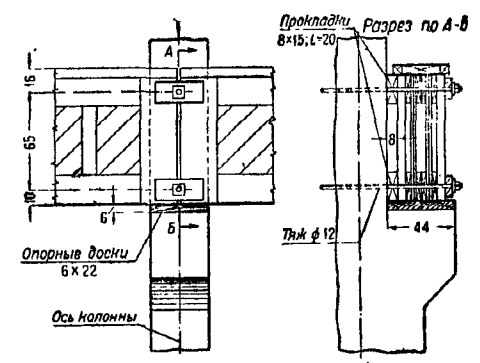
Необходимость применения двустенчатых (или спаренных) балок вызвана большой мощностью гнездового забоя и поясах балки, которую удается разнить только путем увеличения числа рабочих швов при использовании гвоздей малого диаметра.

Раскосы всех слоев стенок наклонены к поясам под углом 45° и имеют взаимно одинаковые направления: внутренние нисходящие, наружные нисходящие или же наоборот. При несоблюдении этого последнего условия верхний пояс балки подвергается кручению.

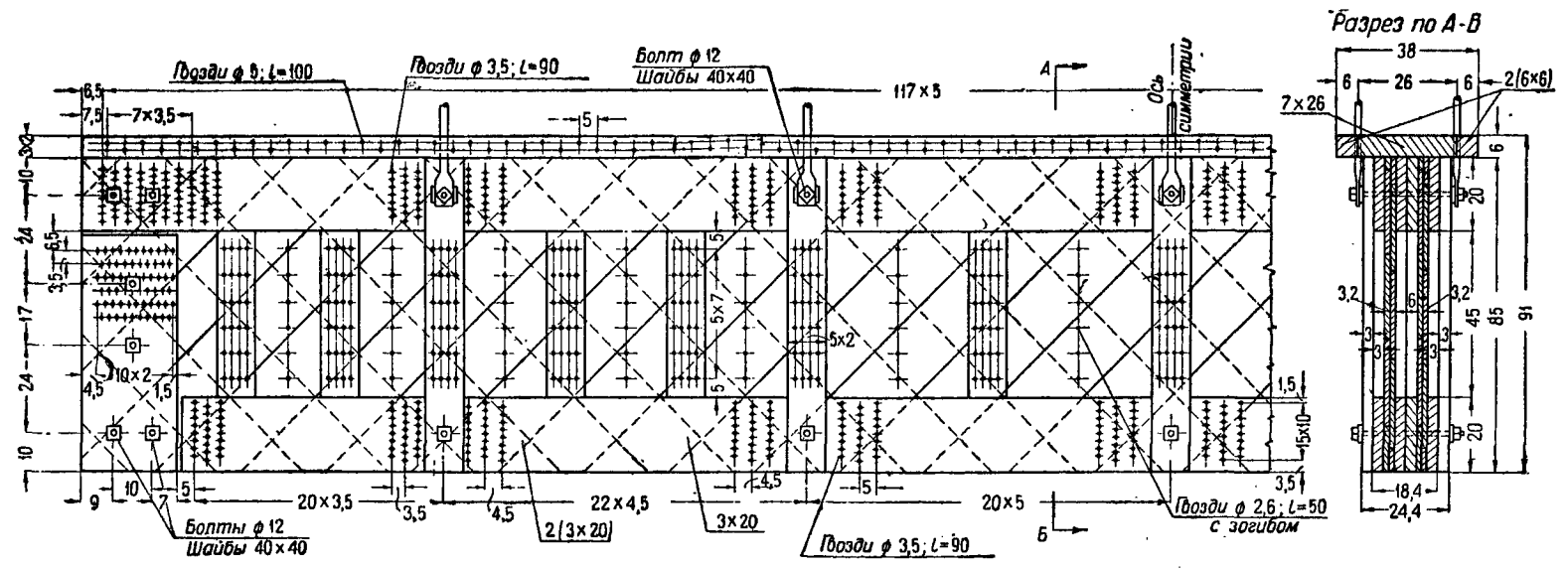
Оптимальная теоретическая высота конструкции, соответствующая наименьшему расходу древесины, определяется в каждом случае сравнительными подсчетами и обычно находится в пределах от 1/8 до 1/12 пролета. Высота поясных досок балки должна быть: 1) не меньше 20 см, что соответствует минимально необходимой жесткости верхнего пояса, воспринимающего местные усилия от сосредоточенной крановой нагрузки, и 2) не более 24—26 см ввиду опасности появления продольных трещин, почти неизбежных при большой высоте досок.



Фиг. 54. Двухтавровая балка с перекрестной стенкой



Фиг. 55. Опираие на колонну



Фиг. 56. Разбивка гвоздей и болтов

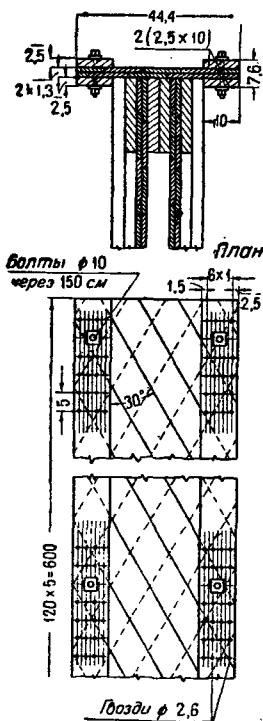
По верхнему поясу подкрановой балки укладывается горизонтальная балка жесткости, воспринимающая напряжения от продольного изгиба пояса и поперечные тормозные усилия от тележки крана с грузом.

Балка жесткости проектируется в виде ребровой доски, усиленной с обеих сторон нашивками из брусков на гвоздях (фиг. 56), или в виде двутавровой балочки с перекрестной (фиг. 57) или фанерной стенкой.

Опорные стойки подкрановой балки конструируются из досок максимальной ширины, допустимой сортаментом на пиломатериалы (26 см), и для повышения жесткости опорных сечений балки насыщаются до предела гвоздевым забоем.

Толщина накладок принимается равной толщине средней ветви пояса, что позволяет сократить длину опирания балки. Для уменьшения вредного влияния усушки древесины все доски опорной стойки доводятся до опорной подушки балки; нижний пояс при этом соответственно укорачивается.

Основные ребра жесткости, обжимающие стенки и пояса балок, располагаются через 1,0 м, кроме того для обеспечения устойчивости стенки в плоскости поясов ставятся вспомогательные ребра, а раскосы стенки в пределах каждой панели соединяются между собой вертикальным рядом гвоздей с загибом их концов поперек волокон. В двустечатых балках раскосы стенки соединяются в пределах панели посредством бруска, располагаемого в плоскости средней ветви пояса, так как применение гвоздей с загибом в этом случае вызывает затруднения при производстве работ.



Фиг. 57. Балка жесткости с перекрестной стенкой

На пояса балки, а также опорные стойки желательно применять воздушно-сухую сосну не ниже марки 1.

Балкам этого типа обязательно придается конструктивный строительный подъем второго рода.

По некоторым наблюдениям гвоздевые балки скрипят при проходе крана, что неприятно находящимся в цехе работникам; это обстоятельство необходимо учитывать при выборе конструктивной схемы подкрановой балки.

2) Статический расчет

Расчетные значения изгибающих моментов от крановой нагрузки и от тормозных усилий тележки определяются по формулам, приведенным в расчете брусчатой балки. Поперечные силы в сечениях балки находятся из уравнения огибающей:

$$Q_x = \frac{2(l-x)-k}{l} P + g(0,5l-x), \quad (52)$$

где  $x$  — расстояние первого груза от оси опоры;  $g$  — постоянная нагрузка на единицу длины.

При учете начальных напряжений от конструктивного строительного подъема второго рода усилия в поясах находятся по формуле:

$$N_{max} = \frac{M_{max}}{e}, \quad (53)$$

где  $e$  — плечо внутренней пары, равное расстоянию между осями поясов.

Расчетное напряжение в сжатом поясе проверяется по формуле:

$$n_- = \frac{N_{max}}{F_{брутто}}, \quad (54)$$

а в растянутом:

$$n_+ = \frac{N_{max}}{F_{нетто}}, \quad (55)$$

где  $F_{брутто}$  и  $F_{нетто}$  — площади поясов: верхнего — брутто и нижнего — нетто.

Сопротивление верхнего пояса продольному изгибу полностью обеспечивается балкой жесткости, воспринимающей также и тормозные усилия от тележки крана.

Свободная длина балки жесткости при продольном изгибе принимается равной  $0,695l$ , что соответствует треугольной эпюре нарастания усилия в верхнем поясе; при этом напряжение:

$$n_1 = \frac{N_{max}(0,695l)^2}{3 \cdot 000 I_{жс}} = \frac{N_{max} l^2}{6 \cdot 100 I_{жс}}, \quad (56)$$

где  $I_{жс}$  — момент инерции сечения балки жесткости.

Напряжение в балке жесткости от поперечного изгиба ее тормозными силами определяется обычными приемами:

$$n_2 = \frac{M_T}{W_{жс}}, \quad (57)$$

где  $W_{жс}$  — момент сопротивления сечения балки жесткости.

Расчетное напряжение:

$$n = n_1 + n_2.$$

Соединение балки жесткости с верхним поясом рассчитывается по эквивалентной продольному изгибу нагрузке  $p$ , исчисляемой по формуле:

$$n_1 = \frac{p l^2}{8 W_{жс}},$$

откуда:

$$p = \frac{8 n_1 W_{жс}}{l^2}. \quad (58)$$

Сдвигающие силы в балке жесткости определяются, как для простой балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой  $p$  и сосредоточенными силами торможения.

Раскосы стенки подкрановой балки рассчитываются на продольный изгиб из плоскости балки от суммы сжимающих усилий  $T$  и  $V$ .

Сила  $T$  равна сдвигающему усилию на 1 пог. м длины пояса:

$$T = \frac{Q}{e}. \quad (59)$$

Величина силы  $V$ , учитывающей влияние местного груза в виде сосредоточенного давления от колеса крана, может быть получена путем рассмотрения балки как многорешетчатой формы с параллельными неразрезными поясами. Ввиду необычайной сложности этой многократно статически неопределимой задачи до экспериментального уточнения ее расчет стенки производится

в предположении, что давление от колеса крана равномерно воспринимается раскосами стенки на длине пояса, равной пятикратной его высоте:

$$V = \frac{P}{5h}, \quad (60)$$

где  $h$  — высота верхнего пояса, а  $P$  — давление на одно колесо крана.

Свободная длина раскосов при продольном изгибе определяется с учетом частичного защемления их в поясах и в ребрах жесткости:

$$l_p = 0,7 \frac{2b}{\sqrt{2}} = b, \quad (61)$$

где  $b$  — расстояние между ребрами жесткости.

Если оба слоя раскосов скреплены между собой гвоздями, радиус инерции сечения их вычисляется с учетом момента инерции раскосов обратного направления, но пренебрегая растягивающими в них усилиями:

$$r = \sqrt{\frac{2I_p}{F_p}} = 1,41r_0, \quad (62)$$

где  $r_0$  — радиус инерции поперечного сечения сжатых раскосов.

Напряжение в досках стенки определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{T + V}{2\delta\varphi},$$

где  $\delta$  — толщина одного слоя четырехслойной стенки.

Поясные гвозди балки рассчитываются по сдвигающим усилиям, действующим вдоль поясов, и по усилиям, возникающим в раскосах стенки от местной нагрузки.

Расчетные формулы для определения необходимой мощности гвоздевого забоя получаются из рассмотрения условий статического равновесия гвоздя при учете эксцентриситета решетки.

Количество гвоздей на 1 пог. м пояса определяется равномерным смятием одного слоя стенки, смятием ветви пояса при симметричном нагружении гвоздя и прочностью самого гвоздя на изгиб. В соответствии с этим имеем три уравнения:

$$m_1 = \frac{T + V}{204\delta d}; \quad (64)$$

$$m_2 = \frac{V \sqrt{T^2 + V^2 + 1,2TV}}{191\delta d}; \quad (65)$$

$$m_3 = \frac{V \sqrt{T^2 + V^2 + 1,2TV}}{1095\delta^2}; \quad (66)$$

где  $T = \frac{Q}{e}$  — сдвигающая сила в кг/пог. м пояса;

$V = \frac{P}{5h}$  — вертикальная сила в кг/пог. м пояса;

$\delta$  — толщина в см досок каждого из четырех слоев стенки;

$a$  — толщина в см наружной доски пояса;

$d$  — диаметр гвоздя в см.

При обычных для практики соотношениях между  $\delta$ ,  $a$  и  $d$  решающим уравнением является (64).

Для случая  $a > 5,7d$  ур-ние (65) отпадает, так как ур-ние (66) дает большее значение для  $m$ .

Расчет гвоздей в опорной стойке ничем не отличается от расчета поясных гвоздей у опоры балки. Необходимая мощность гвоздевого забоя в ней определяется по первой панели пояса, но для повышения жесткости и надежности гвоздевых соединений опорная стойка предельно насыщается гвоздями при одновременном использо-

вании наибольшего размера ширины досок, допустимого по сортаменту на пиломатериалы.

### Строительный подъем

Величина конструктивного строительного подъема второго рода определяется по формуле:

$$f_{стр} = \frac{\eta P l^3}{E I_0} + \frac{2l\delta}{3e}, \quad (67)$$

где  $\eta$  — коэффициент, определяемый по табл. 3;  $I_0$  — момент инерции поясов относительно нейтральной оси балки без учета моментов инерции относительно их собственных осей и

$\delta$  — сдвиг гвоздевого шва, принимаемый равным 1 мм.

### 3) Пример расчета (фиг. 54—57)

#### а) Расчетные данные

Пролет балки  $l = 5,80$  м (фиг. 58). Грузоподъемность крана  $P_2 = 5,0$  т. Пролет моста 18,0 м. Давление на одно колесо  $P = 6,60$  т. База крана  $k = 2,315$  м. Вес тележки  $P_m = 1,95$  т. Тормозная сила от тележки с грузом на одно колесо  $S = 0,174$  т.

Изгибающие моменты и поперечные силы.

По табл. 4 для

$$\frac{k}{l} = \frac{2,315}{5,80} = 0,4,$$

коэффициент  $\varphi = 0,320$ .

Изгибающие моменты:

в вертикальной плоскости:

$$M_y = 0,320 \cdot 6\,600 \cdot 5,80 + \frac{120}{8} \left( 5,80^2 - \frac{2,315^2}{8} \right) = 12\,795 \text{ кгм};$$

в горизонтальной плоскости:

$$M_x = 0,320 \cdot 174 \cdot 5,80 = 323 \text{ кгм}.$$

Поперечные силы в сечениях балки определяются по уравнению:

$$Q_x = \frac{2(1-x) - k}{l} P + g(0,5l - x).$$

| х в м  | 0,0    | 1,0   | 2,0   | 3,0   |
|--------|--------|-------|-------|-------|
| Q в кг | 10 928 | 8 528 | 6 118 | 3 960 |

Поперечная сила на опоре жесткой балки:

$$Q_0 = \frac{2 \cdot 5,80 - 2,315}{5,80} = 279 \text{ кг}.$$

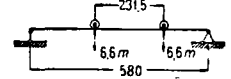
#### б) Расчет элементов конструкции

Задаемся расчетной высотой балки  $e = 0,65$  м, что составляет  $\frac{1}{9}l$ .

Необходимая площадь сечения верхнего пояса находится из выражения:

$$F = \frac{M_{\max}}{e[\sigma]} = \frac{1\,279\,500}{65 \cdot 90} = 219 \text{ см}^2.$$

Верхний пояс конструируем из четырех досок  $3 \times 20$  см; площадь сечения  $F_1 = 4,3 \cdot 20 = 240 \text{ см}^2$ .



Фиг. 58. Расчетная схема

Напряжение:

$$n_- = \frac{219}{240} \cdot 90 = 82 \text{ кг/см}^2.$$

Нижний пояс принимаем того же сечения, что и верхний.

Ослабление сечения гвоздями составляет приблизительно 12%.

Напряжение:

$$n_+ = \frac{82}{0,88} = 93,3 < 100 \text{ кг/см}^2.$$

Раскосы стенки рассчитываются на продольный изгиб из плоскости балки. Сжимающее усилие от сдвигающих сил в поясе определяется по среднему значению поперечной силы.

В опорной панели:

$$Q_{cp} = \frac{10\,928 + 8\,528}{2} = 9\,728 \text{ кг}$$

и

$$T_{cp} = \frac{9\,728}{0,65} \approx 15\,000 \text{ кг.}$$

Усилие от местного груза:

$$V = \frac{6\,600}{5 \cdot 0,20} = 6\,600 \text{ кг.}$$

Расчетная величина сжимающего усилия:

$$D = 15\,000 + 6\,600 = 21\,600 \text{ кг.}$$

Толщину раскосов стенки принимаем равной  $\delta = 16 \text{ мм}$ . Свободная длина при продольном изгибе:

$$l_c = b = 29 \text{ см.}$$

Гибкость:

$$\frac{l_c}{1,41\delta} = \frac{29}{1,41 \cdot 1,6} = 12,8,$$

$$\varphi = 0,69.$$

Напряжение:

$$n_- = \frac{21\,600}{100 \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 0,69} = 98 > 90 \text{ кг/см}^2.$$

Перенапряжение 9% ввиду условности расчета может быть допущено.

Вторая панель как менее напряженная не рассчитывается.

В третьей панели:

$$b = 50 \text{ см;}$$

$$Q_{cp} = \frac{6\,118 + 3\,960}{2} = 5\,039 \text{ кг;}$$

$$T_{cp} = \frac{5\,039}{0,65} = 7\,750 \text{ кг;}$$

$$D = 7\,750 + 6\,600 = 14\,350 \text{ кг;}$$

$$l_c = b = 50 \text{ см;}$$

гибкость:

$$\frac{50}{1,41 \cdot 1,6} = 22$$

и

$$\varphi = 0,47.$$

Напряжение:

$$n_- = \frac{14\,350}{100 \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 0,47} = 95 \text{ кг/см}^2.$$

в) Расчет поясных гвоздей

Сдвигающая сила на 1 пог. м длины первой панели:

$$T_1 = \frac{Q}{s} = \frac{19\,928}{0,65} = 16\,800 \text{ кг,}$$

соответственно

$$T_2 = 13\,100 \text{ кг}$$

и

$$T_3 = 9\,400 \text{ кг.}$$

Гвозди  $d = 3,5$  и  $l = 90 \text{ мм}$ .

Рабочая длина защемления гвоздя в крайней ветви пояса:

$$a_{кр} = 90 - 30 - 2 \cdot 16 - 3 - 1,5 \cdot 3,5 =$$

$$= 19,7 \text{ мм} < 5,7d = 19,9 \text{ мм.}$$

Необходимое число гвоздей на 1 пог. м пояса определяется по ур-ниям (64) и (65).

В зоне 1:

$$m_1 = \frac{16\,800 + 6\,600}{204 \cdot 1,6 \cdot 0,35} = 205 \text{ шт.};$$

$$m_2 = \frac{\sqrt{16\,800^2 + 6\,600^2} + 16\,800 \cdot 6\,600 \cdot 1,2}{191 \cdot 1,97 \cdot 0,35} = 159 < m_1,$$

следовательно принимаем  $m_1 = 205$  шт.

В зоне 2:

$$m_1 = \frac{13\,100 + 6\,600}{204 \cdot 1,6 \cdot 0,35} = 172 \text{ шт.}$$

В зоне 3:

$$m_1 = \frac{9\,400 + 6\,600}{204 \cdot 1,6 \cdot 0,35} = 140 \text{ шт.}$$

Балка жесткости запроектирована из доски  $6 \times 26 \text{ см}$ , усиленной с обеих сторон брусками  $6 \times 6 \text{ см}$ .

Моменты инерции и сопротивления:

$$I_{ж} = \frac{6 \cdot 38^3}{12 \cdot 1,1 \cdot 1,03} = 24\,200 \text{ см}^4$$

и

$$W_{ж} = \frac{24\,200}{19} = 1\,270 \text{ см}^3.$$

Сжимающее усилие в поясе:

$$N_{max} = \frac{12\,795}{0,65} = 19\,700 \text{ кг.}$$

Напряжение в балке жесткости:

$$n = \frac{N_{max} I_{ж}}{6\,100 I_{ж}} + \frac{M_x}{W_y} =$$

$$= \frac{19\,700 \cdot 580^2}{6\,100 \cdot 24\,200} + \frac{32\,400}{1\,270} =$$

$$= 44,0 + 25,5 = 70 < 100 \text{ кг/см}^2.$$

Эквивалентная продольному изгибу равномерная нагрузка от верхнего пояса на балку жесткости:

$$p = \frac{8 \cdot 44 \cdot 1\,270}{580^2} \cdot 100 = 133 \text{ кг/м.}$$

Для восприятия этой нагрузки вполне достаточно силы трения между жесткой балкой и верхним поясом, поэтому поставленные болты являются лишь конструктивной связью.

Сдвигающая сила на опоре по шву между брусом и доской находится по формуле:

$$T_0 = \frac{QS_0}{I_{ж}},$$

где  $S_0$  — статический момент площади бруска относительно нейтральной оси.

Поперечная сила:

$$Q = Q_0 + \frac{pl}{2} = 279 + \frac{133 \cdot 5,80}{2} = 665 \text{ кг,}$$



следовательно:

$$T_0 = \frac{665 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 16}{24 \cdot 200} = 15,8 \text{ кг/см.}$$

Бруски соединены с доской гвоздями  $d = 5,0$ ,  $l = 110 \text{ мм.}$

Допускаемое усилие на один срез гвоздя:

$$T_{20} = 72 \text{ кг.}$$

Расчетный шаг гвоздей:

$$c = \frac{72}{15,8} = 4,55 \text{ см,}$$

принято  $c = 5,0 \text{ см.}$

Расчет жесткой балки с перекрестной стенкой (фиг. 57) ничем по существу не отличается от расчета балки жесткости из доски с нашивками.

Опорная подушка подкрановой балки рассчитывается на смятие поперек волокон.

Наибольшее значение опорной реакции:

$$A_{\max} = 10\,550 \text{ кг.}$$

Необходимая площадь опирания:

$$\omega_0 = \frac{10\,550}{22,5} = 470 \text{ см}^2.$$

При общей толщине досок опорной стойки  $b_0 = 2 \cdot 3 + 3 \cdot 6 = 24 \text{ см}$  длина площади опирания должна быть не менее  $\frac{470}{24} = 20 \text{ см.}$

Спецификация дерева на одну балку

| №               | Элементы                      | Сечение      |             |           | Количество | Кубатура в м <sup>3</sup> |
|-----------------|-------------------------------|--------------|-------------|-----------|------------|---------------------------|
|                 |                               | толщина в см | ширина в см | длина в м |            |                           |
| 1               | Верхний пояс . . .            | 3            | 20          | 6,00      | 2          | 0,072                     |
| 2               | » . . . . .                   | 3            | 20          | 6,00      | 2          | 0,072                     |
| 3               | Нижний . . . . .              | 3            | 20          | 5,48      | 2          | 0,066                     |
| 4               | » . . . . .                   | 3            | 20          | 5,48      | 2          | 0,066                     |
| 5               | Ребра жесткости . . .         | 3            | 10          | 0,85      | 10         | 0,026                     |
| 6               | » . . . . .                   | 3            | 10          | 0,45      | 30         | 0,041                     |
| 7               | » . . . . .                   | 3            | 10          | 0,45      | 30         | 0,041                     |
| 8               | Опорные стойки . . .          | 3            | 26          | 0,65      | 4          | 0,020                     |
| 9               | » . . . . .                   | 3            | 26          | 0,65      | 4          | 0,020                     |
| 10              | » . . . . .                   | 3            | 26          | 0,65      | 4          | 0,020                     |
| 11              | Доски перекрестн. ст. . . . . | 6            | —           | —         | —          | 0,328                     |
| 12              | Балка жесткости . . .         | 6            | 6           | 6,00      | 2          | 0,043                     |
| 13              | » . . . . .                   | 6            | 26          | 6,00      | 1          | 0,094                     |
| 14              | Опорные доски . . .           | 6            | 22          | —         | 2          | 0,011                     |
| 15              | Прокладки . . . . .           | 8            | 15          | 0,20      | 2          | 0,005                     |
| Итого . . . . . |                               | —            | —           | —         | —          | 0,956                     |

Спецификация металла на одну балку

| №               | Элементы         | Диаметр в мм | Длина в мм | Количество | Общий вес в кг |
|-----------------|------------------|--------------|------------|------------|----------------|
|                 |                  |              |            |            |                |
| 17              | » . . . . .      | 12           | 275        | 10         | 4,81           |
| 18              | Гвозди . . . . . | 3,5          | 90         | 5 600      | 38,00          |
| 19              | » . . . . .      | 5            | 110        | 296        | 5,00           |
| 20              | » . . . . .      | 2,6          | 50         | 168        | 0,35           |
| 21              | Тяжи . . . . .   | 12           | —          | —          | 4,00           |
| Итого . . . . . |                  | —            | —          | —          | 57,65          |

Конструктивный строительный подъем назначается по Ф-ле (67).

Момент инерции поясов балки:

$$I_0 = 2 \cdot 20 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 32,5^2 = 507\,000 \text{ см}^4;$$

$$f_{стр} = \frac{0,033 \cdot 6\,600 \cdot 580^3}{10^8 \cdot 507\,000} + \frac{2 \cdot 580 \cdot 0,1}{3 \cdot 65} = 1,47 \text{ см,}$$

принято  $f_{стр} = 20 \text{ мм.}$

Расход материалов при балке жесткости двутаврового сечения

Спецификация дерева

| №               | Элементы                         | Сечение      |             |           | Количество | Кубатура в м <sup>3</sup> |
|-----------------|----------------------------------|--------------|-------------|-----------|------------|---------------------------|
|                 |                                  | толщина в см | ширина в см | длина в м |            |                           |
| 22              | Основная балка . . .             | —            | —           | —         | —          | 0,819                     |
| 23              | Пояса балки жесткости . . . . .  | 25           | 100         | 6,00      | 4          | 0,060                     |
| 23              | Стенка балки жесткости . . . . . | 13           | —           | —         | —          | 0,069                     |
| Итого . . . . . |                                  | —            | —           | —         | —          | 0,948                     |

Спецификация металла

| №               | Элементы                         | Диаметр в мм | Длина в мм | Количество | Общий вес в кг |
|-----------------|----------------------------------|--------------|------------|------------|----------------|
|                 |                                  |              |            |            |                |
| 25              | Болты балки жесткости . . . . .  | 10           | 90         | 10         | 1,37           |
| 25              | Гвозди балки жесткости . . . . . | 2,6          | 70         | 750        | 2,19           |
| Итого . . . . . |                                  | —            | —          | —          | 61,21          |

## 8. Параболическая балка

### 1) Конструкция

Конструктивная схема этой балки получена усилением бруса криволинейным нижним поясом и сплошной вертикальной стенкой в два слоя досок (фиг. 59—60).

Брус, называемый ниже «балкой жесткости», в нижней половине высоты сечения имеет четверти, в которые упираются своими торцами доски стенки, соединяемые с брусом гвоздями малого диаметра. Четверти эти доводятся до оси бруса, чтобы уменьшить вредное влияние его усучки поперек волокон.

Нижнему поясу балки придается параболическое очертание (с подъемом в  $\frac{1}{7}$  —  $\frac{1}{8}$  пролета), чем значительно упрощается статический расчет системы, так как при любом положении нагрузки стенка работает равномерно по всей длине пролета. Поперечное сечение пояса во избежание больших начальных напряжений от гнутья составляется из двух досок.

Нижние торцы досок стенки подрезаются по очертанию верхней кромки нижнего пояса и опираются на него заподлицо с крайними кромками. В связи с этим по ширине нижнего пояса возникают изгибающие моменты, влияние которых парализуется косяками из брусев,



ваклядываемых между стенками и соединяемых с ними необходимым числом гвоздей.

Доски нижнего пояса соединяются между собой (и с косяками) гвоздями, способствующими равномерному распределению усилий по сечению пояса.

Нижний пояс соединяется с балкой жесткости в опорном узле на гвоздях с помощью хомутов из листовой стали, огибающих закругленный торец балки и прочно скрепленных с ней на конце гвоздями и стяжными болтами (фиг. 61). Для уменьшения опасности растрескивания досок при усушке по ширине пояса ставятся два хомута с небольшим зазором между ними. Увеличение площади гвоздевого забоя в опорных узлах достигается применением косых распорных клиньев, врезаемых снизу в балку жесткости. Эти клинья, так же как и самая балка, должны изготавливаться по возможности из сухой древесины.

При сборке конструкции жесткой балке рекомендуется придавать строительный подъем в  $\frac{1}{500}$  пролета.

Несущая способность параболических балок ограничивается сравнительно низкими пределами из-за трудности решения опорного узла. При кранах грузоподъемностью в 5 т балки удается сконструировать только спаренными (фиг. 60).

Недостатками этой системы являются большой расход древесины на балку и большая трудоемкость их. По стоимости эти балки даже менее экономичны, чем железобетонные.

## 2) Статический расчет

Рассматриваемая система один раз статически неопределима. За лишнюю неизвестную принимается распор  $H$  в нижнем поясе.

Основная статически определяемая система изображена на фиг. 62 (стр. 731); фиктивное состояние показано на фиг. 63 (стр. 731).

Уравнение равенства работ имеет вид:

$$-P\delta_{pm} + H\delta_{nm} = 0, \quad (68)$$

отсюда:

$$H = \frac{\delta_{pm}}{\delta_{nm}} P.$$

При  $P = 1$  получим ординату линии влияния распора под грузом:

$$\eta_m = \delta_{pm} \frac{1}{\delta_{nm}}. \quad (69)$$

Из ур-ния (69) следует, что линия влияния распора получается как линия прогиба основной системы от нагрузки  $H = 1$  и при масштабе  $1 = \delta_{nm}$ .

### а) Определение перемещений

При параболическом очертании нижнего пояса прогибы  $\delta_{pm}$  определяются из уравнения упругой линии простой балки с равномерно распределенной нагрузкой:

$$\delta_{pm} = \frac{ql^4}{24EI} \left( \frac{x}{l} - 2 \frac{x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4} \right), \quad (70)$$

где  $l$  — расчетный пролет балки;

$x$  — координата рассматриваемого сечения;

$EI$  — жесткость балки жесткости;

$q$  — интенсивность равномерно распределенной нагрузки.

Интенсивность нагрузки  $q$  определяется из условия:

$$H = \frac{ql^3}{8h},$$

откуда:

$$q = \frac{8h}{l^3} \cdot H; \quad (71)$$

при  $H = 1$ :

$$q = \frac{8h}{l^3}, \quad (71')$$

где  $h$  — высота балки в осях по середине пролета. Перемещение  $\delta_{nm}$  для упрощения расчета определяется приближенно без учета работы нормальных сил. Допускаемая неточность увеличивает запас прочности нижнего пояса, работающего на растяжение, и несколько уменьшает запас для балки жесткости, что не имеет однако практического значения:

$$\delta_{nm} = \int_0^l \frac{\bar{M}^2}{EI} dx. \quad (72)$$

При равномерно распределенной нагрузке:

$$\bar{M} = \frac{qx}{2} (l - x). \quad (73)$$

Подставляя это значение  $\bar{M}$  в ф-лу (72), получим:

$$\delta_{nm} = \frac{1}{EI} \int_0^l \left[ \frac{qx}{2} (l - x) \right]^2 dx = \frac{q^2 l^5}{120EI}. \quad (74)$$

## б) Расчетные формулы

Подставляя в ур-ние (69) найденные значения перемещений и используя равенство (71'), получим уравнение линии влияния распора  $H$  в виде:

$$\eta_m = \frac{5l}{8h} \left( \frac{x}{l} - 2 \frac{x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4} \right). \quad (75)$$

При необходимости произвести поверочный уточненный расчет ординаты линии влияния распора определяются по формуле:

$$\eta_m = \frac{hl^3 \left( \frac{x}{l} - 2 \frac{x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4} \right)}{3I \left[ \frac{8h^2 l}{15I} + \frac{1}{F_n} \left( l + \frac{5,5h^2}{l} \right) + \frac{l}{F_0} + \frac{128h^3}{3l^3} \right]}, \quad (76)$$

где  $I$  — момент инерции балки жесткости;

$F_0$  — площадь поперечного сечения балки жесткости;

$F_n$  — площадь поперечного сечения нижнего пояса;

$\Delta$  — суммарная толщина слоев стенки.

Линия влияния распора, построенная по ур-нию (75), приведена на фиг. 64 (стр. 731).

Усилие в нижнем поясе находится по формуле:

$$S = \frac{H}{\cos \alpha}, \quad (77)$$

где  $\alpha$  — угол наклона касательной, определяемой из уравнения оси нижнего пояса:

$$y = \frac{4hx(l-x)}{l^3}, \quad (78)$$

откуда:

$$\alpha = \arctg \frac{dy}{dx} = \arctg \frac{4h(l-2x)}{l^3}. \quad (79)$$

Усилие в нижнем поясе достигает наибольшей величины в опорном сечении, где  $\cos \alpha$  имеет наименьшее значение.

При  $x = 0$  угол:

$$\alpha_0 = \arcs \operatorname{tg} \frac{4h}{l}. \quad (80)$$

Усилие в стенке находится по ф-ле (71). Изгибающие моменты в балке жесткости:

$$M_x = M_0 - \frac{qx(l-x)}{2}, \quad (81)$$

где  $M_0$  — момент в простой балке от действующих нагрузок;

$x$  — координата сечения, для которого определяется  $M_x$ .

Линии влияния изгибающих моментов приведены на фиг. 65 (стр. 731).

в) Учет строительного подъема

Начальные усилия, возникающие в элементах конструкции, определяются из выражения прогиба простой балки, несущей равномерно распределенную нагрузку, представляющую собой в данном случае усилие в стенке.

Прогиб:

$$f_{\max} = \frac{5q_{\text{стп}}l^4}{384EI}; \quad (82)$$

при

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1}{500}$$

усилие в стенке:

$$q_{\text{стп}} = \frac{384EI}{2500l^3}, \quad (83)$$

а так как

$$H = \frac{ql^2}{8h},$$

то

$$H_{\text{стп}} = \frac{12EI}{625hl}. \quad (84)$$

3) Пример расчета (фиг. 59—61)

а) Расчетные данные

Пролет балки  $l = 6,00$  м. Грузоподъемность крана  $P = 5,0$  т. Пролет моста — 18,0 м. Давление на одно колесо  $P = 6,60$  т. База крана  $k = 2,315$  м (фиг. 66). Вес тележки  $P_m = 1,95$  т. Тормозная сила от тележки с грузом на одно колесо  $S = 0,174$  т. Собственный вес балки и кранового пути  $g = 100$  кг/м. Высота балки в осях  $h = 0,7$  м (фиг. 67).

б) Моменты и нормальные силы

Наибольшее значение изгибающего момента в балке жесткости получается при нахождении одного колеса крана на расстоянии  $0,2l = 1,20$  м от конца балки, а второго — за пределами ее. Ордината линии влияния под грузом:

$$\eta_m = 0,0858 l;$$

$$M_{\max} = 0,0858 \cdot 6,00 \cdot 6600 = 3400 \text{ кгм.}$$

Изгибающий момент в горизонтальной плоскости от тормозных сил:

$$M_x = \frac{174 \cdot 1,20 \cdot 4,80}{6,00} = 167 \text{ кгм.}$$

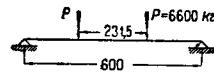
Сжимающее усилие  $N$  в балке, равное по абсолютной величине распору, находится по линии влияния  $H$ .

Для принятого загрузения балки:

$$N = -0,1160 \frac{6,00}{0,70} \cdot 6600 = -6560 \text{ кг.}$$

Наибольшее значение распора получается при симметричном загрузении балки (см. фиг. 64, линию влияния  $H$ ):

$$H_k = 0,160 \cdot 2 \frac{6,00}{0,70} \cdot 6600 = 18100 \text{ кг.}$$



Фиг. 66. Схема нагружки

От постоянной нагрузки:

$$H_g = \frac{ql^2}{8h} = \frac{100 \cdot 6,00^2}{8 \cdot 0,7} = 643 \text{ кг.}$$

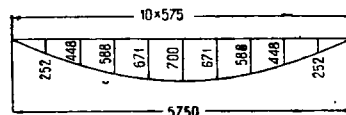
в) Расчет элементов конструкции

Балка жесткости запроектирована из двух брусьев сечением  $22 \times 25$  см (фиг. 60).

Моменты инерции:

$$I_x \approx \left[ \frac{(22 - 2 \cdot 1,3) \cdot 25^3}{12} + 2 \cdot 1,3 \cdot 12,5 \cdot 6,25^2 \right] 2 \approx \approx 53040 \text{ см}^4;$$

$$I_y = \left[ \frac{12,5 \cdot 22^3}{12} + \frac{12,5 \cdot 19,4^3}{12} \right] 2 = 37220 \text{ см}^4.$$



Фиг. 67. Очертание нижнего пояса балки без учета строительного подъема

Моменты сопротивления:

$$W_x = \frac{53040}{12,5} = 4275 \text{ см}^3,$$

$$W_y = \frac{37220}{11,0} = 3380 \text{ см}^3.$$

Площадь поперечного сечения:

$$F = (12,5 \cdot 22 + 12,5 \cdot 19,4) 2 = 1035 \text{ см}^2.$$

Свободная длина при продольном изгибе:

$$l_y = 600 \text{ см.}$$

Радиус инерции:

$$r_y = \sqrt{\frac{37220}{1035}} = 6,0 \text{ см.}$$

Гибкость:

$$\lambda_y = \frac{600}{6,0} = 100,$$

$$\varphi_y = 0,30.$$

Напряжение:

$$\begin{aligned} n &= \frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{M_x}{W_y} + \frac{N}{F\varphi_y} = \\ &= \frac{34000}{4275} + \frac{16700}{3380} + \frac{6560}{1035 \cdot 0,30} = 105 \text{ кг/см}^2. \end{aligned}$$

Начальные напряжения, возникающие в балке жесткости от строительного подъема, в запас прочности не учитываются, так как со временем подъем может быть полностью или частично утрачен.

Нижний пояс каждой из свариваемых балок имеет сечение в две доски  $3 \times 22$  см. Ослабление площади сечения гвоздями в опорном узле составляет приблизительно 12%.

При этом:

$$F_n = 4 \cdot 3 \cdot 22 \cdot 0,88 = 232 \text{ см}^2.$$

Величина распора, возникающего от строительного подъема, находится по ф-ле (84):

$$H_{стр} = \frac{12 \cdot 10^5 \cdot 53 \cdot 040}{625 \cdot 70 \cdot 600} = 2430 \text{ кг.}$$

Расчетная величина распора:

$$H = H_k + H_g + H_{стр} = 21 \cdot 173 \text{ кг.}$$

Угол наклона касательной к нижнему поясу на опоре:

$$\alpha_0 = \arctg \frac{4 \cdot 0,70}{6,00} = 25^\circ,$$

$$\cos \alpha_0 = 0,906.$$

Наибольшее растягивающее усилие в нижнем поясе:

$$S = \frac{21 \cdot 173}{0,906} = 23 \cdot 300 \text{ кг.}$$

Напряжение:

$$n_+ = \frac{23 \cdot 300}{232} = 100 \text{ кг/см}^2.$$

Стенка запроектирована из досок толщиной 1,3 см.

Свободная длина при продольном изгибе:

$$l_y = 70 - 3 = 67 \text{ см,}$$

$$\frac{l_y}{h} = \frac{67}{1,3} = 51,5,$$

$$\varphi_{\min} = 0,10.$$

Сжимающее усилие:

$$q = \frac{8h}{l^2} N = \frac{8 \cdot 0,70}{6,00^2} \cdot 21 \cdot 173 = 3 \cdot 380 \text{ кг/пов. м.}$$

Напряжение:

$$n_- = \frac{3 \cdot 380}{1,3 \cdot 100 \cdot 4 \cdot 0,10} = 65 \text{ кг/см}^2.$$

Опорный узел балки запроектирован на гвоздях  $d = 5,0$ ,  $l = 125$  мм при помощи хомутов из листовой стали толщиной 2,5 мм и шириной 105 мм.

Для обеспечения двусрезности гвоздей, соединяющих нижний пояс с балкой жесткости, концы хомутов закреплены по верху балки гвоздями того же диаметра (фиг. 61). Сила, приходящаяся на хомуты, в месте соединения их с нижним поясом равна  $0,5S = 0,5 \cdot 23 \cdot 300 = 11 \cdot 650$  кг. Сила трения между хомутами и закругленным торцом балки уменьшает усилие на концах хомутов, расположенных по верху балки.

Действующее на концах усилие равно:

$$O_x = \frac{0,5S}{e^{\mu a}},$$

где  $\mu$  — коэффициент трения стали по дереву;

$a$  — угол обхвата;

$e$  — основание натуральных логарифмов.

При

$$\mu = 0,25 \text{ и } a = 155^\circ$$

имеем:

$$O_x = \frac{11 \cdot 650}{1,95} = 5 \cdot 970 \text{ кг.}$$

Допускаемое усилие на один срез гвоздя:

$$T_{16} = 72 \text{ кг.}$$

Необходимое число гвоздей:

$$m_1 = \frac{5 \cdot 970}{72} = 83 \text{ шт.}$$

Для крепления нижнего пояса к балке необходимое число гвоздей равно:

$$m_2 = \frac{23 \cdot 300}{2 \cdot 72} = 162 \text{ шт.}$$

Сечение каждого хомута ослаблено тремя гвоздями.

Рабочая площадь четырех хомутов:

$$F_n = 4 (0,25 \cdot 10,5 - 3 \cdot 0,5 \cdot 0,25) = 2,24 \cdot 4 = 8,96 \text{ см}^2.$$

Напряжение:

$$n_+ = \frac{11 \cdot 650}{8,96} = 1 \cdot 300 \text{ кг/см}^2.$$

Наибольшее значение опорной реакции:

$$A_{\max} = 6 \cdot 600 \left(1 + \frac{6,00 - 2,31}{6,00}\right) + 100 \cdot 3 = 11 \cdot 300 \text{ кг.}$$

Необходимая площадь опирания балки:

$$\omega_0 = \frac{11 \cdot 300}{22,5} = 500 \text{ см}^2.$$

Прогиб балки в горизонтальной плоскости от тормозных сил

$$\frac{y}{l} = \frac{0,033 \cdot 174 \cdot 600^2}{10^5 \cdot 37 \cdot 220} = \frac{1}{1 \cdot 800}.$$

Спецификация дерева на одну сваренную балку

| №               | Наименование              | Сечение в см | Длина в м | Количество | Объем в м <sup>3</sup> |
|-----------------|---------------------------|--------------|-----------|------------|------------------------|
| 1               | Балка жесткости . . . . . | 22×25        | 6,00      | 2          | 0,660                  |
| 2               | Нижний пояс . . . . .     | 3×22         | 6,30      | 4          | 0,166                  |
| 3               | Стенка . . . . .          | 1,3×20       | —         | —          | 0,135                  |
| 4               | Косынки . . . . .         | 12,5×22      | 1,50      | 6          | 0,248                  |
| 5               | Клпнья . . . . .          | 25×22        | 0,43      | 4          | 0,093                  |
| 6               | Опорные подушки . . . . . | 22×22        | 0,40      | 4          | 0,077                  |
| 7               | » . . . . .               | 10×20        | 0,22      | 4          | 0,017                  |
| Итого . . . . . |                           |              |           |            | 1,40                   |

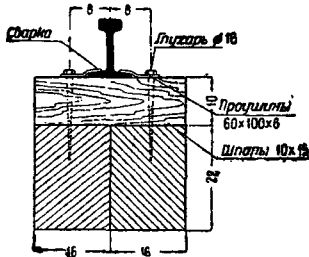
Спецификация металла на одну сваренную балку

| №               | Наименование                        | Сечение в мм | Длина в мм | Количество | Вес в кг |
|-----------------|-------------------------------------|--------------|------------|------------|----------|
| 1               | Гвозди . . . . .                    | ∅ 2,6        | 60         | 540        | 1,35     |
| 2               | » . . . . .                         | ∅ 3,5        | 90         | 92         | 0,63     |
| 3               | Болты с шайбами . . . . .           | ∅ 12,7       | 460        | 12         | 7,70     |
| 4               | » . . . . .                         | ∅ 12,7       | 550        | 3          | 6,00     |
| 5               | » . . . . .                         | ∅ 12,7       | 420        | 3          | 4,96     |
| 6               | » . . . . .                         | ∅ 12,7       | 370        | 3          | 4,56     |
| 7               | » . . . . .                         | ∅ 12,7       | 450        | 3          | 5,20     |
| 8               | Болты крепления к колонне . . . . . | ∅ 12,7       | 1 400      | 1          | 1,49     |
| 9               | Шайбы . . . . .                     | ∅ = 10       | 130×130    | 1          | 1,34     |
| 10              | Хомуты . . . . .                    | 2,5×105      | 1 540      | 8          | 25,40    |
| 11              | Гвозди . . . . .                    | ∅ 5,0        | 125        | 472        | 9,10     |
| Итого . . . . . |                                     |              |            |            | 67,73    |

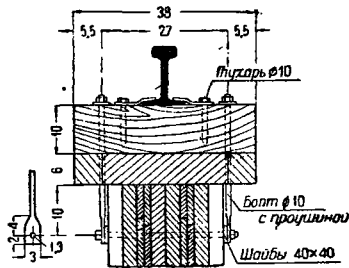
## 9. Крепление рельсов

Тип крепления рельса зависит от конструкции балки и от грузоподъемности кранов.

В брусчатых балках, применяемых только для ручных кранов, рельсы укладываются непосредственно на брусья и крепятся к ним при помощи привариваемых к подошвам проушин из полосуговой стали толщиной 6 мм глухарями  $d = 12-16$  мм через 50—60 см.



Фиг. 68. Крепление рельсов к балкам с брусчатым верхним поясом

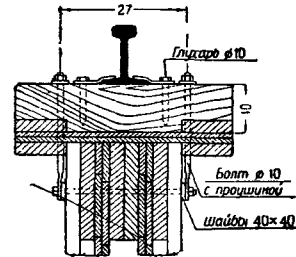


Фиг. 69. Крепление рельсов к балкам с дощатым верхним поясом

Во всех других конструкциях балок, применяемых под электрические краны, рельсы укладываются по поперечинам, располагаемым через 33 см.

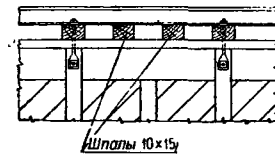
В балках с брусчатым верхним поясом глухаря пропускаются через каждую поперечину в тело

балки (фиг. 68). В гвоздевых балках с перекрестной стенкой рельсы крепятся только к поперечинам, из которых каждая третья соединяется с балкой болтами, имеющими на нижних концах откованные ушки, надеваемые на болты основных ребер жесткости (фиг. 69—71).



Фиг. 70

Поперечины имеют высоту 10 см, ширину 15 см и длину, равную ширине подкрановой балки поверху. Поперечины не рассчитываются, так как при наличии жесткого рельса типа IVa они обеспечены необходимым запасом прочности даже



Фиг. 71

при максимальных для деревянных балок крановых нагрузках. Стыки рельсов имеют обычную конструкцию, принятую для железнодорожных путей. Сварка рельсов не рекомендуется ввиду того, что при температурных колебаниях и при большой длине звена возможно расстройство рельсовых креплений.

Инж. С. М. ЖАК и инж. И. И. ОРШАНСКИЙ

## XI. ЭСТАКАДЫ И ГАЛЛЕРЕИ

### 1. Определение и классификация

Сооружения мостового типа большой длины по сравнению с их шириной, служащие для транспортирования материалов или для пешеходного движения, называются эстакадами. Эстакады, проезжая часть которых ограничена стенами и кровлей, называются галлереями.

По своему назначению эстакады и галлереи в промышленных сооружениях (на территории фабрик и заводов, в карьерах, на железных дорогах и т. п.) могут быть подразделены на две основные группы:

#### 1) Пешеходные эстакады

а) Соединительные между производственными помещениями с интенсивным движением, включенным в рабочий поток; при слабом нерегуляр-

ном движении проектируются иногда в виде открытых мостиков.

б) Переходные — над путями — проектируются большей частью открытыми (фиг. 1).

#### 2) Эстакады под транспортеры и вагонетки

По характеру обслуживаемого производственного процесса и типу транспортирующих механизмов различают:

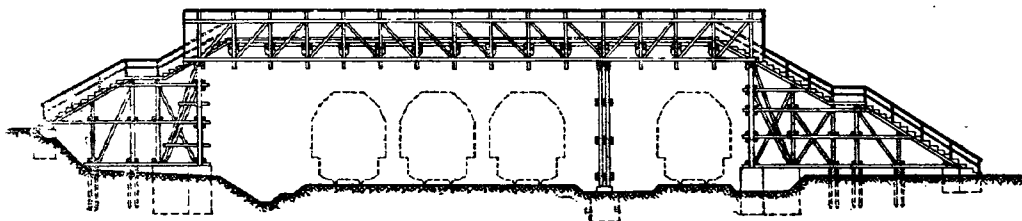
а) эстакады под вагонетки для подачи сырья из карьеров и подачи топлива (фиг. 2);

б) эстакады и галлереи под конвейеры для транспортирования сырья и полуфабрикатов между цехами и для транспортирования готовой продукции (фиг. 3).

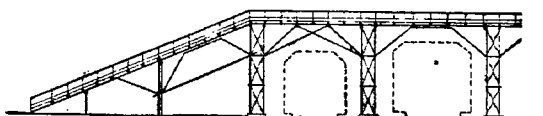
В зависимости от урвней соединяемых точек эстакады и галлереи бывают горизонтальные, наклонные или состоят из горизонтальных и наклонных участков одновременно. Уклон опре-

деляется видом и конструкцией подающих механизмов, назначаемых в зависимости от транспортируемого материала.

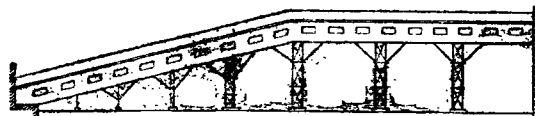
Поперечины нарубаются на пояса ферм (прогоны) и притягиваются к ним болтами (фиг. 4 и 5). Для прохода по полотну эстакады по по-



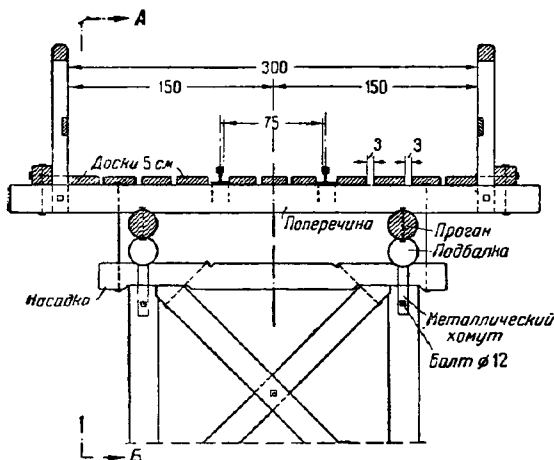
Фиг. 1. Переходный мостик. Продольный разрез



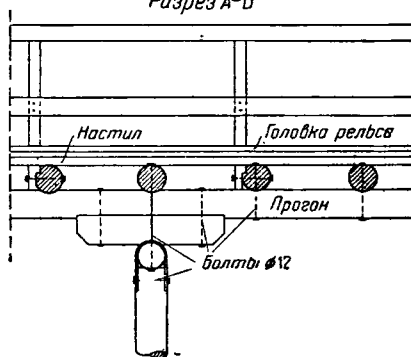
Фиг. 2. Эстакада для вагонок



Фиг. 3. Галлерея под транспортер



Фиг. 4. Проезжая часть однопутной эстакады



## 2. Конструкция

Конструкция эстакад и галлерей состоит из пролетного строения, ограждения и опор с фундаментами.

### 1) Пролетное строение

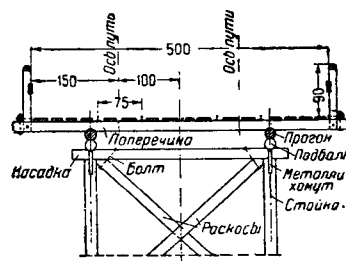
Пролетное строение состоит из проезжей части непосредственно воспринимающей нагрузку, продольных связей и несущей конструкции (ферм, прогонов), передающей нагрузку на опоры.

#### а) Проезжая часть

Конструкция проезжей части зависит от назначения эстакады или галлерей.

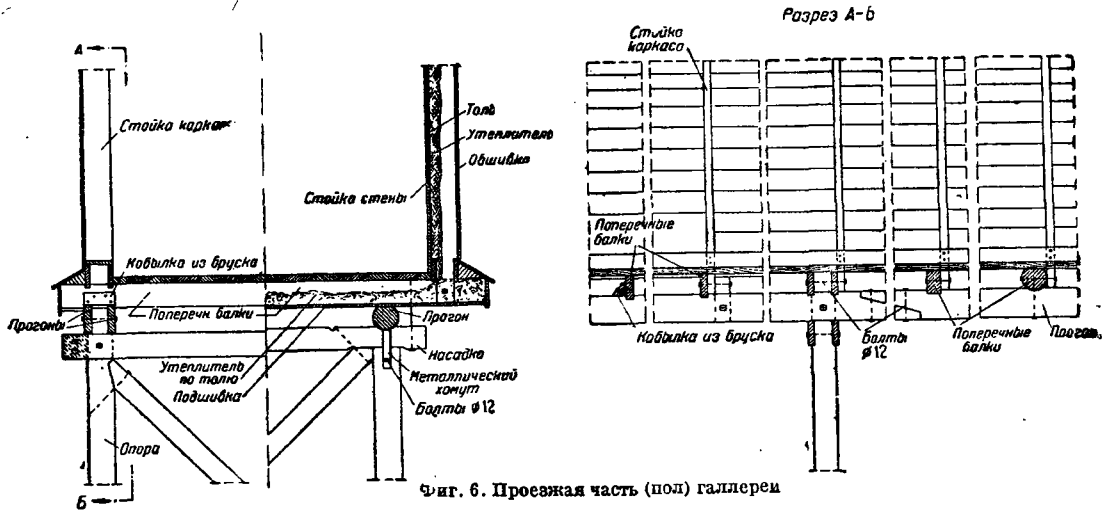
В эстакадах под вагонок проезжая часть состоит из рельсового пути и поддерживающих его поперечин (фиг. 4 и 5). Поперечины из брусьев или из круглого леса, отесанного на один или два канта, укладываются непосредственно на фермы (прогоны), причем расстояние между ними определяется в зависимости от нагрузки и от жесткости рельса (табл. 1).

речинам укладывается настил с зазором между досками в 2—3 см для предохранения досок от выпучивания при разбухании и для стока дождевой воды.



Фиг. 5. Проезжая часть двухпутной эстакады

В галлереях пешеходных и под транспортеры проезжая часть состоит из одиночного дощатого пола и поперечных балок. Последние делаются из круглого леса с отеской на один или два канта, из брусьев или из досок на ребро (фиг. 6).



Фиг. 6. Проезжая часть (пол) галлерей

Таблица 1

Рельсы «Виньоль»

| Рельсы и подкладки кормальной и узкой колеи <sup>1</sup> |  |           |                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|-----------|-------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Длина рельсов «Виньоль»                                  |  |           |                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Тип (см. порядковые номера табл. 1)                      |  | Длина в м |                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | норм.     | укороч. для крытых      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 и 2  |  | 15,00     | 14,96<br>14,92          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1, 2, 3 и 4  |  | 12,50     | 12,46<br>12,42<br>12,38 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5, 6 и 7   |  | 10,00     | —                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8, 9 и 10  |  | 9,00      | —                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11, 12 и 13  |  | 7,00      | —                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 14   |  | 5,00      | —                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| № п/п | Тип  | Вес кг/пог. м | Размеры в мм |       |      |      |       |      |     |     | Площадь поперечного сечения в см <sup>2</sup> | Моменты                     |                  |                             |        | Размеры в мм |     | Площадь в см <sup>2</sup> |
|-------|------|---------------|--------------|-------|------|------|-------|------|-----|-----|---|-----------------------------|------------------|-----------------------------|--------|--------------|-----|---------------------------|
|       |      |               | h            | B     | b    | d    | r     | a    | c   | e   |   | инерции I в см <sup>4</sup> |                  | сопрот. W в см <sup>3</sup> |        | n            | m   |                           |
|       |      |               |              |       |      |      |       |      |     |     |   | норм.                       | изнош.           | норм.                       | изнош. |              |     |                           |
| 1     | Ia   | 43,57         | 140          | 135   | 79   | 14   | 13    | 58   | 110 | 160 | 55,84   | 1 476                       | 1 270            | 210                         | 182    | 209          | 150 | 313,5                     |
| 2     | IIa  | 38,42         | 135          | 114   | 68   | 13   | 13    | 58   | 110 | 160 | 49,06   | 1 223                       | 1 039            | 180                         | 155    | 184          | 150 | 291                       |
| 3     | IIIa | 33,43         | 128          | 110   | 60   | 12   | 12    | 58   | 110 | 160 | 42,76   | 968                         | 812              | 147                         | 124    | 178          | 150 | 267                       |
| 4     | IVa  | 30,89         | 120,5        | 100   | 53,5 | 12   | 11,68 | 56   | 110 | 160 | 39,45   | 751                         | 632              | 123                         | 105    | 164          | 150 | 246                       |
| 5     |      | 30,33         | 119,55       | 100   | 53,5 | 13   | 12    | 61   | 127 | —   | 38,10   | 707                         | 594              | 118                         | 101    | 175          | 150 | 258,5                     |
| 6     |      | 29,11         | 114          | 95    | 56,5 | 13   | 11    | 61,5 | 127 | —   | —   | —                           | 543              | —                           | 99     | 170          | 150 | 255                       |
| 7     |      | 26,87         | 109          | 95    | 54,5 | 12   | 11    | 61,5 | 127 | —   | —   | —                           | 454              | —                           | 85     | 170          | 150 | 255                       |
| 8     |      | 24,18         | 107          | 92    | 51   | 10,5 | 13    | 61   | 127 | —   | 30,67   | 469                         | 382              | 67                          | 72     | 162          | 100 | 162                       |
| 9     |      | 20,64         | 95,25        | 87,55 | 47   | 10   | 9     | —    | —   | —   | 28,35   | 310                         | —                | 63                          | —      | 165          | 100 | 165                       |
| 10    |      | 18,45         | 90           | 80    | 40   | 10   | 7     | —    | —   | —   | 23,60   | 245                         | —                | 56                          | —      | 150          | 100 | 150                       |
| 11    |      | 14,78         | 91           | 78    | 37   | 7    | 7     | —    | —   | —   | 18,79   | 214                         | 164 <sup>2</sup> | 47                          | 39     | 132          | 100 | 132                       |
| 12    |      | 11,18         | 80,5         | 66    | 32   | 7    | 7     | —    | —   | —   | 14,15   | 125                         | 108 <sup>2</sup> | 31                          | 28     | 118          | 100 | 118                       |
| 13    |      | 8,40          | 65           | 54    | 25   | 7    | 5     | —    | —   | —   | 10,62   | 75                          | 63               | 21                          | 19     | 102          | 75  | 76,5                      |
| 14    |      | 6,95          | 65           | 50    | 25   | 5,5  | 4     | —    | —   | —   | 8,33  | —                           | —                | 16                          | —      | 96           | 75  | 73,5                      |

<sup>1</sup> По материалам отдела рационализации Промтранспроекта.

<sup>2</sup> Для рельсов весом 11,18 кг/м и легче моменты инерции и сопротивления даны при износе 3 мм.



Поперечные балки дошатых сечений нарубаются на прогон и кроме того прикрепляются кобылками из брусков на гвоздях; балки из кругляка или брусьев притягиваются болтами.

- 4) арочных;
- 5) сквозных решетчатых;
- 6) несущих стенок (когда ограждение является одновременно несущей конструкцией).

В табл. 2 приведены возможные системы главных ферм и их техническая характеристика.

## 2) Ограждения

Ограждениями служат: в эстакадах—перила, в галлереях—стены и кровля.

### а) Перила

Проезжая часть эстакад должна быть ограждена перилами. Перила состоят из стоек и покрывающего их поручня. Высота перил изменяется от 0,9 до 1,20 м, считая от уровня настила; расстояние между стойками принимается до 1,50 м. Стойки и поручни делаются из брусков прямоугольного или квадратного сечения.

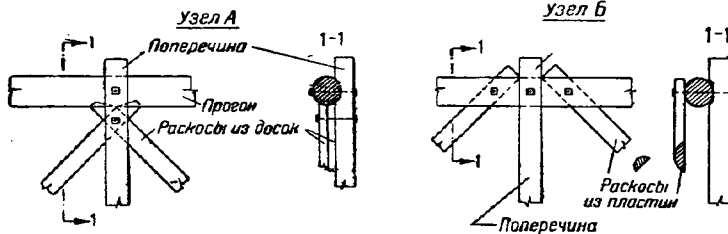
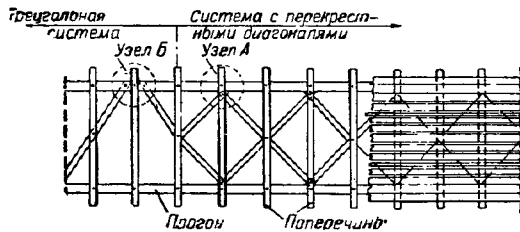
Крепление стоек к поперечным и прижимному брусу производится болтами (фиг. 9 и 10).

Иногда стойки укрепляются дополнительно наружными подносами (фиг. 11), что вызывает однако удлинение поперечин. Соединение поручня со стойками делается простым шипом; стыки поручня помещаются над стойками или около последних.

### б) Стены

В зависимости от теплового режима в помещении стены бывают холодные или утепленные.

По конструкции стены подразделяются на обыкновенные, изготовляемые на месте работы, и сборные, собираемые из заранее изготовленных щитов.



Фиг. 7. Продольные (ветровые) связи в эстакадах под вагонетки

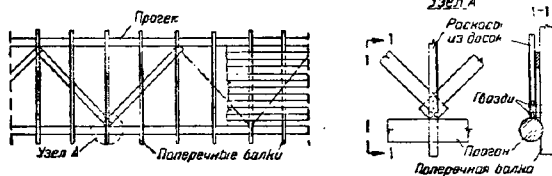
Настил в эстакадах и пол в галлереях делается из досок толщиной не менее 5 см, причем в пешеходных галлереях с интенсивным движением к расчетной толщине прибавляется 1—2 см на износ.

В утепленных галлереях к низу поперечных балок подшивается настил из досок толщиной 2—2,5 см для укладки утеплителя (фиг. 6).

### б) Продольные связи

Для передачи опорам давления ветра в плоскости проезжей части устраиваются продольные ветровые связи.

В эстакадах под вагонетки продольными связями кроме ветра воспринимаются также боковые удары при проходе вагонеток. Из систем связей наиболее употребительны треугольная или система с перекрестными раскосами (фиг. 7 и 8).



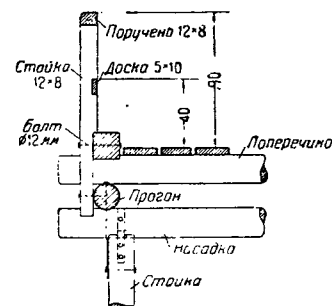
Фиг. 8. Продольные (ветровые) связи в галлереях

Раскосы и схватки делаются из досок или пластин и прикрепляются болтами или гвоздями к прогонам, служащим в данном случае поясами ветровых ферм.

### в) Несущая конструкция

Несущая конструкция в эстакадах и галлереях может осуществляться в виде следующих систем:

- 1) простых балочных;
- 2) подносных;
- 3) шпунгельных;



Фиг. 9. Перила

Обыкновенные стены. Основными элементами конструкции стен являются карнас и обшивка, причем в холодных стенах обшивка всегда одинарная, в утепленных же может быть двойной.

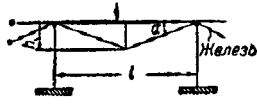
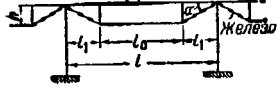
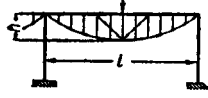


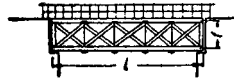

Карнас состоит из несущих стоек, из поперечных элементов, образующих коробку для установки оконного переплета, и наконеч из раскосов, устанавливаемых в плоскости стенки для придания ей продольной жесткости. Раскосы располагаются обычно в крайних и нескольких

Техническая характеристика ферм различных систем

| № | Наименование                  | Область применения   | Пролет $l$<br>в м | $\frac{l}{h}$ или $\alpha$                      | Полезная<br>нагрузка на<br>$1 \text{ пог. м}$<br>в кг | Расход леса<br>на $1 \text{ м}^2$ плана<br>в $\text{м}^3$ | Вид сопряжения        | % железа | Схема |
|---|-------------------------------|--|-------------------|---|---|---|-----------------------|----------|-------|
| 1 | Балочная                      | Эстакады, галлерей и переходные мостики                        | 2,0—4,0           | —   | 300—800   | 0,08—0,12   | Врубни и болты        | 1—2      |       |
| 2 | Балочно-подкосная             | То же  | 6,0—12,0          | $\alpha = 35^\circ - 50^\circ$                  | 300—800   | 0,10—0,15   | Врубни и болты        | 1,5—2,5  |       |
| 3 | Одноподкосная                 | То же  | 4,0—8,0           | $\alpha = 35^\circ - 50^\circ$                  | 300—800   | 0,10—0,15   | Врубни и болты        | 1,5—2,5  |       |
| 4 | Двухподкосная                 | Преимущественно для эстакад под вагонами                       | 6,0—12,0          | $\alpha + \beta = 90^\circ$                     | 300—800   | 0,10—0,15   | Врубни и болты        | 1,5—2,5  |       |
| 5 | Ригельная                     | То же. Прогон стыкутся только на стойках                       | 6,0—12,0          | $\alpha = 35^\circ - 50^\circ$                  | 300—800   | 0,10—0,15   | Врубни и болты        | 1,5—2,5  |       |
| 6 | Шпренгельная несущая стенка   | Галлерей под сплошную нагрузку (транспорт, толпа)              | 6,0—9,0           | из условий прохода                              | 300—500   | —   | Врубни, болты, гвозди | 2—4      |       |
| 7 | Шпренгельная (несущая стенка) | Эстакада под вагонами. Галлерей под транспортом или пешеходные | 5,0—8,0           | $\alpha \approx 20^\circ$<br>из условий прохода | 300—500   | —   | Врубни, болты, гвозди | —        |       |

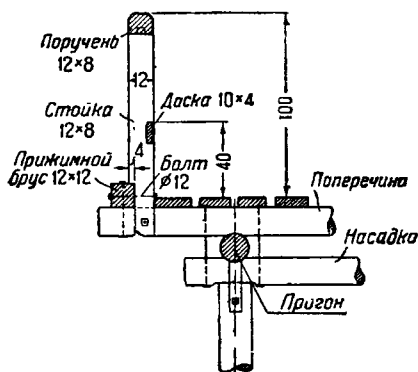
ЭСТАКАДЫ И ГАЛЛЕИ

| №  | Наименование   | Область применения  | Пролет $l$<br>в м | $\frac{l}{h}$ или $\alpha$ | Полевая<br>нагрузка на<br>1 пог. м<br>в кг |
|----|--|---|-------------------|----------------------------|--|
| 8  | Шпребельная  | Эстакады под любую нагрузку. Верхний пояс (балка) цельный | 6,0—8,0           | $\alpha \approx 20^\circ$  | 400—800                                    |
| 9  | То же  | То же   | 6,0—8,0           | $\alpha \approx 20^\circ$  | 400—800                                    |
| 10 | То же  | Эстакады под любую нагрузку                               | 15,0—30,0         | $\frac{l}{h} = 7$          | 300—800                                    |
| 11 | Арка с балкой жесткости                                | То же   | 15,0—30,0         | $\frac{l}{f} = 5 - 7$      | 400—1 000                                  |
| 12 | Арочный мост   | То же   | 15,0—30,0         | $\frac{l}{f} = 5 - 7$      | 400—1 000                                  |
| 13 | Ферма Гау  | То же   | 15,0—30,0         | $\frac{l}{f} = 6$          | —  |
| 14 | Двуглавая балка с перекрестной стеной (несущая стенка) | Преимущественно для закрытых пешеходных галлерей          | 7,0—15,0          | $\frac{l}{f} = 10 - 12$    | 400—750                                    |

| Расход леса на 1 м <sup>2</sup> плапа в м <sup>3</sup> | Вид сопряжения                                   | % железа | Схема   |
|--|--|----------|---|
| —  | Болты  | —        |    |
| —  | То же  | —        |    |
| —  | Гвозди, болты, зубчато-кольцевые шпонки          | —        |    |
| —  | Гвозди, болты, зубчато-кольцевые шпонки и врубки | 10—20    |    |
| —  | Врубки и болты                                   | 4—10     |   |
| —  | То же  | 15—20    |  |
| —  | Гвозди   | 3—5      |  |

средних панелях стенки. Расстояние между несущими стойками принимается равным 1,0—2,0 м. Для стоек употребляются доски, бруски или кругляк с отеской на один или два канта для удобства прикрепления обшивки.

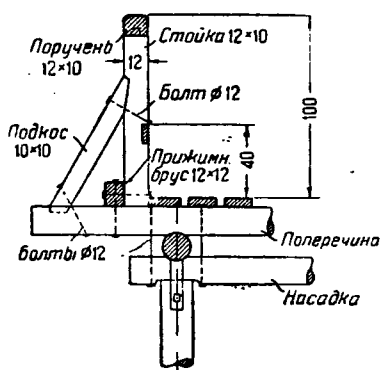
Присоединение стоек к пролетному строению весьма разнообразно и может быть осуществлено по одному из способов, указанных на фиг. 6.



Фиг. 10. Перила

Обшивка делается из досок 2—2,5 см в четверть. Одинарная обшивка прикрепляется к стойкам обычно с наружной стороны.

В галереях, поднятых на значительную высоту над уровнем земли, прикрепление обшивки тре-



Фиг. 11. Перила

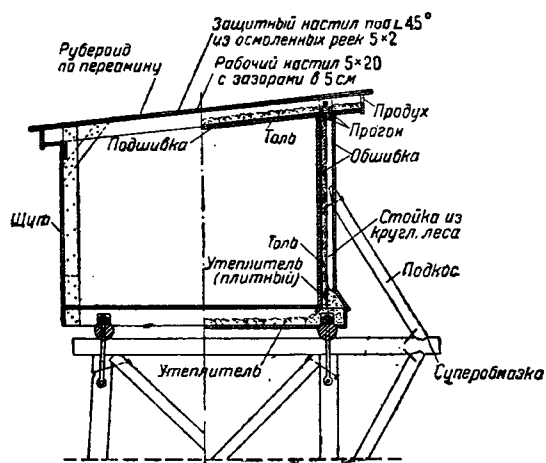
бует специального подмазывания, удорожающего работу. Чтобы избежать этого, можно обшивку прикреплять изнутри к специальным четвертям в стойках.

В случае утепленных стен с двойной обшивкой вторая обшивка прикрепляется к внутренним граням стоек; между обоими рядами обшивки укладывается утеплитель (фиг. 12) с предварительной прокладкой тесьмы по внутренней поверхности второй обшивки.

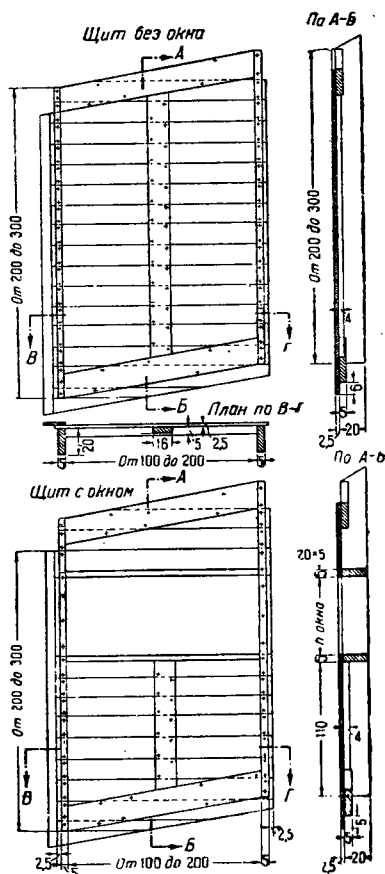
Плитный утеплитель можно прикреплять к рейкам, нашиваемым к стойкам, обшивки же может не быть совсем (ни внешней, ни внутренней). Стены из плит (например из фибролита) требуют оштукатурки.

Сборные стены. Сборные стены состояются из отдельных заранее заготовленных

щитов, конструкция которых включает каркас и обшивку одновременно. Предполагая простейшую механизацию работ по сооружению эстакад



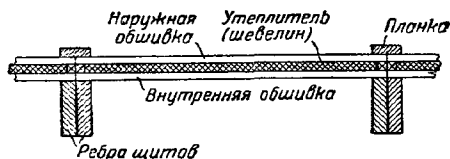
Фиг. 12. Поперечный разрез по галерее



Фиг. 13. Косоугольные щиты для наклонной галереи

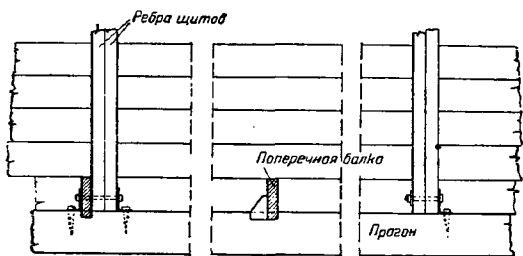
и галлерей, разбивку щитов следует производить таким образом, чтобы вес щита не превосходил 60—80 кг; при этом переноска и установка щита вручную могут быть произведены тремя рабочими.

Каркас щита состоит из двух окаймляющих ребер и двух обвязок — верхней и нижней, причем на верхнюю обвязку могут опираться стропильные ноги. При наличии в щите оконного проема в каркас вводятся дополнительно распорки, образующие совместно с ребрами коробку для установки оконного переплета.



Фиг. 14. Теплый щит

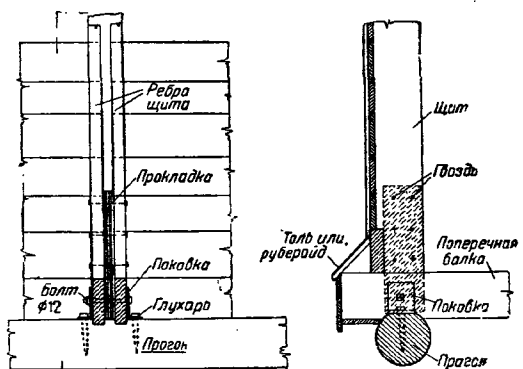
К одной из окаймляющих стоек щита с наружной стороны нашивается во всю высоту планка с напуском на половину своей ширины. Назначение планки — перекрыть шов между двумя смежными щитами. Конструкция щитов показана на фиг. 13.



Фиг. 15. Опирание щитов на прогоны (вид изнутри)

Форма щита определяется уклоном галлерей; соответственно уклону щиты могут быть прямоугольные и косоугольные (в виде параллелограмма).

Обшивка холодных щитов делается из досок 2,0—2,5 см в четверть.



Фиг. 16. Опирание щитов на поперечные балки (вид изнутри)

Обшивка утепленных щитов состоит из двух слоев толщиной по 13 мм ( $1/2''$ ) с прокладкой между ними слоя утеплителя, обычно шевелина или войлока<sup>1</sup> (фиг. 14).

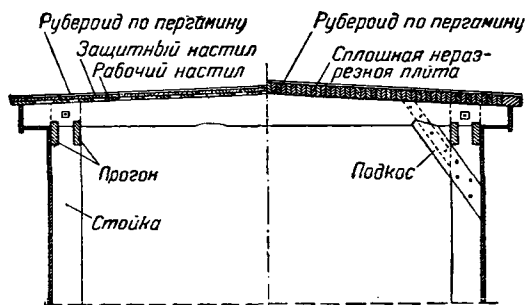
Если в качестве утеплителя принята засыпка, то сначала устанавливаются холодные щиты,

<sup>1</sup> Подробнее о конструкции теплых щитов см. «Строительная индустрия», т. VI.

а затем по внутренним граням стоек щитов нашивается вторая обшивка, как в обыкновенных стенах.

Опирающие щиты на несущую конструкцию и крепление их к последней могут быть произведены двояко.

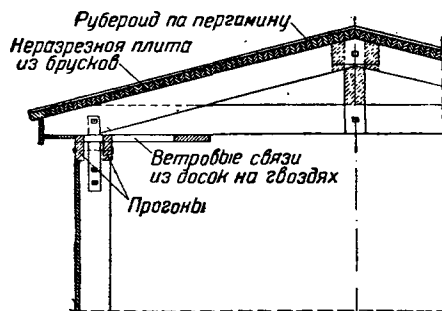
1. Опирание на прогон. На фиг. 15 показано опирание щита непосредственно на прогон. Стойки щита прикрепляются к прогону либо при помощи поковки либо кобылками из брусков на гвоздях и сшиваются между собой гвоздями. При указанном способе опирания разбивка поперечных балок не связана с размерами щитов.



Фиг. 17. Рубероидная кровля по стропилам

2. Опирание на поперечные балки. Как видно на фиг. 16, щиты опираются на попарно установленные поперечные балки. Последние, а также и стойки смежных щитов раздвинуты на толщину прокладки (4—5 см), устанавливаемой для прикрепления щитов к поперечным балкам.

Расстояние между поперечными балками должно быть равно или кратно ширине щита.



Фиг. 18. Рубероидная кровля по тавровой балке

### в) Кровли

Основными кровельными материалами служат рубероид и искусственный шифер.

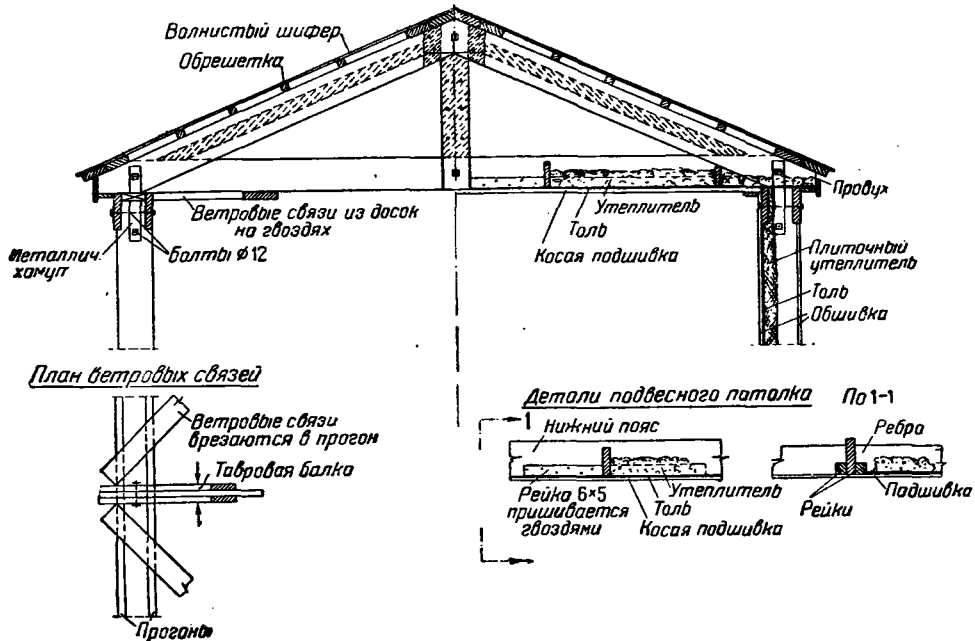
Основа под водоизолирующий ковер выполняется по стандартам, принятым в промышленном строительстве; в зависимости от применяемого кровельного материала делается двойной перекрестный или сплошной одиночный настил либо наонец разреженная обрешетка из брусков.

Несущая конструкция кровли в галлерейях осуществляется по одному из типов, приведенных на фиг. 17—20.

Выбор того или иного типа конструкции кровли определяется главным образом ее пролетом (шириной галереи).

Помимо снеговой нагрузки конструкция кровли частично может воспринять также ветровую нагрузку со стен и передать ее на опоры.

нему поясу балки (фиг. 18 и 19). Ветровые связи аналогично связям проезжей части могут быть треугольной или двухраскосной системы и делаются обычно из досок толщиной 2,5—3,0 см на гвоздях. Ветровые связи присоединяются к опорам через стойки и жесткие торцевые стенки.



Фиг. 19. Шиферная кровля по тавровой балке

В кровлях, приведенных на фиг. 12 и 17, двойной перекрестный настил ввиду большой жесткости может служить одновременно ветровой фермой, если отношение

$$\frac{l_{\phi}}{h_{\phi}} = \frac{\text{расстояние между опорами}}{\text{ширина галереи}} > 5-8.$$

Для обеспечения работы на ветер кровля жестко связывается с опорами через несущие стойки и стенки. В этих целях стойки, приходящиеся над опорами, связываются со стропильной ногой в жесткую раму. Помимо этого практикуется иногда постановка наружных ветровых подкосов (фиг. 12). Применения последних следует однако избегать, так как в месте присоединения подкоса к насадке образуется глухое гнездо, в котором застаивается вода, что ведет к загниванию конструкции. На крайних опорах кроме того торцевые стенки делаются жесткими, геометрически неизменяемыми. При указанной конструкции ветер со стен передается на опоры через кровлю и нижние связи проезжей части поровну. Если

отношение  $\frac{l_{\phi}}{h_{\phi}} \geq 8$ , передавать ветер через настил не рекомендуется вследствие больших его деформаций, вызывающих выпучивание стенок. Передача ветровой нагрузки со стен на опоры осуществляется в указанных случаях двояко.

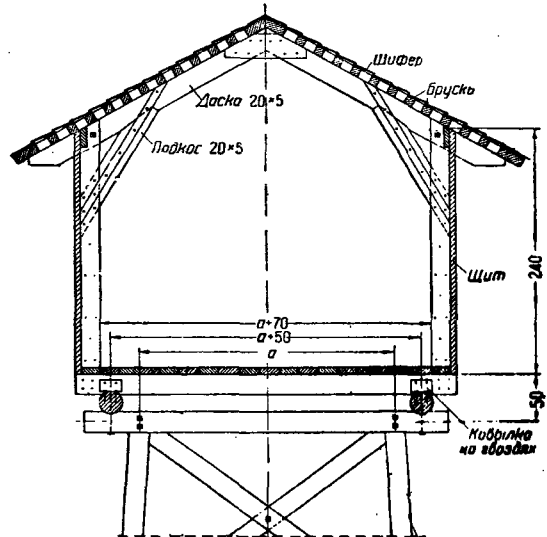
1. Каждый поперечный ряд стоек стены связывается при помощи подкосов со стропильной ногой в раму (фиг. 17 и 20), воспринимающую ветер со всей стены и передающую его на проезжую часть. Подкосы крепятся обычно гвоздями.

2. Устраиваются специальные ветровые связи, прикрепляемые к стропильным ногам или к ниж-

### 3) Опоры и фундаменты (табл. 3)

#### а) Опоры

Назначение опоры — воспринять не только вертикальное давление, передаваемое вышележащей конструкцией, но и боковое давление ветра как на самую опору, так и на пролетное строение



Фиг. 20. Рама, несущая шиферную кровлю

и ограждение. Следовательно опора должна быть достаточно жесткой и устойчивой в поперечном направлении. Этому условию удовлетворяют конструкции, приведенные в табл. 3, наиболее широко применяемые для эстакад и галлей.

Фундаменты могут выполняться: 1) в виде отдельных столбов под каждую стойку, 2) общего массива под всю опору и 3) двух отдельных массивов, соединенных стенкой шириною 50—80 см в зависимости от глубины заложения (фиг. 21). Последний тип применяется только при бетонных фундаментах.

Таблица 3

Конструкции опор различных типов

| Тип | Область применения  | Схема опор |
|-----|---|------------|
| a   | Применяется при высоте $h \leq 6,5$ м. Осуществляется без стыков  |            |
| b   | Применяется при $h = 6,5 - 10$ м. Стяжки ступенчатые с накладками. Может собираться на земле и устанавливаться цепиком без лесов  |            |
| c   | Применяется для высоких опор ( $h > 8$ м), а также в случаях, требующих продольной жесткости. Стяжки ступенчатые, с накладками. Может осуществляться без лесов путем постепенного наращивания |            |

Одиночная опора *a* представляет собой в поперечном направлении ветровую ферму, поясами которой являются стойки. Решетку обычно делают с перекрестными раскосами и рассчитывают в предположении, что в каждом направлении работает только одна система раскосов (сжатых).

Опора типа *b* отличается от предыдущей тем, что пояса фермы в ней двойные, спаренные по фасаду. Решетка треугольной системы заводится между поясами.

Наконец двойная опора *c* состоит из двух ветровых ферм по типу *a*, раздвинутых по фасаду и расшитых между собой. Такая конструкция придает опоре не только поперечную, но и продольную устойчивость.

При значительной высоте опоры для придания ей большей устойчивости стойки в поперечном направлении книзу раздвигаются. Та же цель может быть достигнута постановкой укосин. Последний способ требует несколько больше леса, но зато дает возможность стандартизировать элементы решетки и уменьшить свободную длину сжатых раскосов, а потому рационален для эстакад большой длины и высоты.

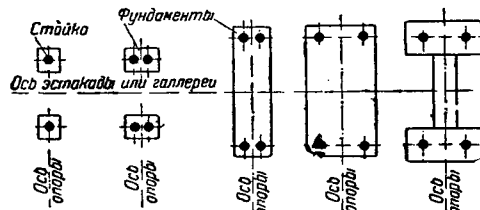
Стойки (пояса) и раскосы делаются обычно из круглого леса; схватки — из пластин или досок.

б) Фундаменты

Фундаменты делаются из бута, бутобетона или бетона  $R_{сж}=90$  за исключением временных эстакад, в которых опоры могут быть установлены на предварительно забитые сваи.

Устройство фундамента того или иного вида определяется конструкцией и высотой опоры, а также величиной ветровой нагрузки.

Фундаменты в виде отдельных столбов под каждую стойку применяются для низких (до 4,0—5,0 м) опор типа *a* или *b* с широко расставленными стойками. При большей высоте делаются сплошные массивы под всю опору. Для опор *c* применяется обычно третий тип фундамента в



Фиг. 21. План фундаментов под опоры

виде отдельных, соединенных стенкой массивов под передние и задние стойки. И только при очень высоких опорах ( $\geq 16,0$  м) или большой ветровой нагрузке устраиваются сплошные фундаменты.

3. Разбивка на пролеты и выбор типа пролетного строения и опор

Разбивка эстакады или галлерей на пролеты должна производиться таким образом, чтобы, во-первых, были соблюдены необходимые габариты проездов, находящихся под эстакадой зданий и т. д., а, во-вторых, чтобы стоимость сооружения получилась наименьшей.



Стоимость эстакады или галлерей складывается из:

- 1) стоимости пролетного строения (ограждения, проезжей части и несущей конструкции);
- 2) стоимости опор;
- 3) стоимости фундаментов.

Стоимость ограждения и проезжей части зависит главным образом от ширины галлерей или эстакады и типа водоизолирующего материала и является для данного сооружения величиной постоянной. Таким образом в рассмотрение включается только стоимость несущей конструкции, опор и фундаментов.

В экономично спроектированной галлерее или эстакаде стоимость несущей конструкции приблизительно равна стоимости опор с фундаментами. Последнему условию обычно удовлетворяет разбивка на пролеты, при которой  $H \approx 0,8-0,9L$ , где  $H$  — высота опоры, а  $L$  — пролет несущей конструкции.

Установить точную зависимость между пролетом и высотой опор не представляется возможным, потому что помимо величины пролета на стоимости сооружения существенно сказывается выбранный тип и материал несущей конструкции, тип и материал опор, способ производства работ, возможный на данном строительстве (степень механизации последнего), качество грунта и т. д.

При выборе типа ферм несущей конструкции следует стремиться обойтись простейшими подкосными ригельными или шпренгельными системами, выполняемыми преимущественно из круглого леса. Подобные конструкции просты в осуществлении; кроме того, комбинируя их, возможно перекрыть тот же пролет с меньшей затратой материала, чем при помощи ферм.

Так, галлерей с несущей конструкцией в виде комбинации подкосных и шпренгельных систем при расстоянии между осями опор в 14 м и средней высоте опор в 10 м на 1 пог. м потребовала 1,05 м<sup>3</sup> леса (это количество включает весь материал — опоры, пролетное строение, пол, стены и кровля). Галлерей же с несущей стенкой в виде раскосной фермы при пролете  $L = 16$  м на 1 пог. м потребовала 2,10 м<sup>3</sup> леса, несмотря на то, что не имела опор, так как соединяла непосредственно два здания.

Область применения каждого типа, а также употребительные сечения и тип связей даны в табл. 2.

Применение того или иного типа опор в каждом отдельном случае определяется следующими факторами: высотой опоры, конструкцией пролетного строения и наконец способом производства работ. Так, низкие опоры высотой до 6,5—7,0 м, поддерживающие пролетное строение балочной, шпренгельной или подкосной системы с ватяжками, делаются по типу *a* (табл. 3). До указанной высоты стойки делаются без стыков. При высоте свыше 6,5 м стойки ввиду ограниченности сортамента леса получают стыкованными. Во избежание боковых смещений при продольном изгибе, а также для большей жесткости следует делать ступенчатый стык, переменяя последовательно по одной стойке. Указанное требование осуществимо при устройстве опоры по типу *b*. Тот же тип должен применяться также в тех случаях, когда из габаритных условий нельзя устраивать ватяжки в пролете, как например при проходе эстакады или галлерей над шоссевыми дорогами, железнодорожными или вагонеточными путями. При высоте галлерей свыше

10—12 м вопрос о применении опоры того или иного типа решается не только соображениями их устойчивости, но и в зависимости от способа производства работ.

При отсутствии на строительной площадке необходимых подъемных механизмов необходимо устройство лесов, причем стоимость последних достигает 12—15% от общей стоимости сооружения. В этих условиях целесообразно устройство опор по типу *c*, позволяющих благодаря своей конструкции обходиться без лесов. Действительно, первая секция (до стыка), установленная на фундамент, служит лесами при дальнейшем возведении опоры до проектной высоты. После установки стоек по верху их устраивается рабочая площадка, с которой производится последующая работа по подъему и установке конструкций пролетного строения.

Та же конструкция опоры применяется для отдельно стоящих эстакад и галлерей, не привязанных к зданию. Крайние, а иногда одну или несколько средних опор независимо от их высоты следует устраивать по типу *c* для придания всему сооружению продольной устойчивости.

Если строительство располагает подъемными механизмами (мачты, укосины или кран) и если кроме того место работ не стеснено, следует делать опоры по типу *b* как наиболее экономичные. Опора собирается на земле около фундамента целиком, а затем поднимается и устанавливается на место и раскрепляется расчалками или временными подпорками. Дальнейшая работа заключается в подъеме и установке на место несущих конструкций и креплений их к опорам, после чего временные связи убираются.

#### 4. Расчет элементов конструкции

На эстакады и галлерей действуют вертикальная нагрузка и ветер. Вертикальная нагрузка разделяется на:

- а) постоянную — собственный вес конструкции и
- б) временную — снег, толпа, нагрузка от транспортеров и нагрузка от вагонеток.

Подвижная нагрузка от транспортеров принимается равномерно распределенной, а от вагонеток — сосредоточенной.

При учете подвижной нагрузки вводится коэффициент динамичности, равный 1,10—1,20.

Весы транспортеров и вагонеток берутся по заводским каталогам. Расположение сыпучего материала на ленте транспортера дано в табл. 4.

Таблица 4

Расположение материала на ленте транспортера

| Ширина ленты в мм | Объем материала на 1 пог. м ленты в м <sup>3</sup> |                |
|-------------------|--|----------------|
|                   | плоская лента                                      | лотковая лента |
| 300               | 0,0027   | 0,0071         |
| 400               | 0,0053   | 0,0128         |
| 500               | 0,0090   | 0,0197         |
| 600               | 0,0133   | 0,0283         |
| 750               | 0,0217   | 0,0445         |
| 900               | 0,0320   | 0,0640         |
| 1 000             | 0,0400   | 0,0790         |
| 1 100             | 0,0490   | 0,0958         |
| 1 200             | 0,0580   | 0,1140         |

Элементы проезжей части (настил и поперечные балки) рассчитываются только

на вертикальную нагрузку и должны проверяться на прочность и прогиб; для настила и поперечных балок под толпу или транспортеры допускается прогиб:

$$\frac{f_{\max}}{l} \leq \frac{1}{250} - \frac{1}{300}.$$

В эстакадах под вагонетки расстояние между поперечинами принимается в зависимости от высоты (жесткости) рельса.

Несущая конструкция воспринимает вертикальную нагрузку и ветер. Напряжение от ветровой нагрузки обычно незначительно. Только при отношении

$$\frac{l}{h} = \frac{\text{пролет фермы}}{\text{расстояние между поясами}} \geq 8,$$

т. е. для узких эстакад и галлерей значительного пролета ( $> 16$  м), дополнительные напряжения в поясах от ветра должны учитываться.

Опоры и фундаменты под ними рассчитываются на вертикальную нагрузку и ветер, причем ветровая нагрузка является решающей.

Расчет должен производиться на прочность и устойчивость, причем не допускается отрыв стоек от фундаментов. Необходимо, чтобы

$$\frac{M_{уд}}{M_{опр}} \geq 1,25 - 1,5.$$

## 5. Особенности конструирования, возведения и эксплуатации

### 1) Предохранение от загнивания

Эстакады и галереи, как правило, представляют собой сооружения, подверженные непосредственному воздействию атмосферной влаги. Элементы конструкции, особенно их наиболее ответственные части — узлы, врубки, находятся в условиях переменной влажности, что, как известно, особенно благоприятно для жизнедеятельности грибов-разрушителей, вызывающих гниение древесины. Поэтому необходимо обращать особое внимание на предохранение этих сооружений от загнивания.

Мероприятия, которые при этом применяются, разделяются на конструктивно-профилактические и химические.

Конструктивно-профилактические мероприятия исчерпываются назначением для эстакад и галлерей цельных сортиментов — брусьев и бревен с минимальным количеством щелей и пазух, а также применением конструкций простейших схем с наименьшим числом узлов. Последнему условию наиболее удовлетворяют простейшие балочные, подкосные и ригельные системы.

Применения открытых ферм следует избегать, допуская его только при значительных нагрузках и пролетах, причем фермы должны иметь несложные узлы и состоять из элементов крупных сечений (например ферма Гау). Применение в незащищенных сооружениях дощатых конструкций с непрветриваемыми узлами недопустимо.

Химические мероприятия, существенно повышающие срок службы сооружения, заключаются в применении для открытых частей конструкции консервированного леса или в защите узлов, стыков, торцевых поверхностей, врубок и т. п. суперобмазками а трещин — шпаклевками из антисептиков последующего действия или в комбинации обоих способов.

Применение одних только антисептиков последующего действия в большинстве случаев недостаточно надежно предохраняет сооружение от загнивания ввиду опасности выщелачивания их атмосферными осадками. Возведение же конструкций просто из консервированного леса не может обеспечить долговечности сооружения, так как свежие поперечные сечения элементов, врубки и т. д. вскрывают непротитанные части древесины, которые в условиях эксплуатации незащищенного сооружения неизбежно будут увлажняться и загнивать.

Кроме того влага, попадающая во вновь образующиеся трещины, тоже вызывает загнивание древесины.

Из сказанного следует, что для наибольшей долговечности сооружения необходимо применение обоих видов антисептиков, т. е. необходимо осуществлять конструкцию из консервированного леса, все трещины шпаклевать, а врубки и торцы покрывать суперобмазками последующего действия.

Эстакады и галереи из непротитанного леса и не защищенные суперобмазками недолговечны; применение антисептиков обязательно для эстакадных сооружений со сроком службы более 5 лет.

### 2) Противопожарные мероприятия

В эстакадах и галлерей пожарная опасность усугубляется большой (обычно) протяженностью сооружений. В галлерей кроме того ограждение образует трубу, создающую в случае пожара сильную тягу. Таким образом эстакады и галлерей по сравнению с другими деревянными конструкциями находятся в пожарном отношении в худших условиях. А между тем предохранительные мероприятия, мешающие распространению огня и основанные на применении воды (противопожарный водопровод, спринклеры, водяные завесы и т. д.), могут применяться только в утепленных галлерей, да и здесь они защищают лишь ту часть конструкции, которая заключена в пределах ограждения. Для эстакад же и холодных галлерей все эти мероприятия совершенно недопустимы, так как зимой вода замерзает и рвет трубы. Единственным мероприятием, препятствующим распространению огня, в данном случае является сооружение огнестойких зон, обычно выполняемых из железобетона. Огнестойкая зона, во-первых, прерывает галлерей, не давая огню распространяться, а во-вторых, является рабочей площадкой для пожарных. Чтобы выполнять последние функции, зона должна быть длиной не менее 5 м (по фасаду галлерей). Огнестойкие зоны назначаются обычно через 35—40 м.

Для уменьшения опасности возгорания самой древесины применяются те же меры, что и для прочих деревянных конструкций (огнестойкие штукатурки, обшивки, покраски, пропитки и т. д.).

Конструктивно-профилактическим мероприятием является конструирование из крупных сечений. Следует всячески избегать большого скопления мелких досок с просветами и других элементов, обильно омываемых воздухом. Поэтому применения дощатых конструкций из соображений пожарной безопасности, как правило, в галлерей и эстакадах следует избегать.

3) Особенности конструирования

Особенностью конструирования эстакад и галлерей является необходимость постановки большого количества конструктивных связей (болтов, хомутов, скоб). Последнее требование вызывается тем, что эстакады или галлерей всегда подвергаются воздействию переменных динамических нагрузок (вагонетки, толпа). Даже в тех случаях, когда нагрузка ограничивается только транспортером с плавным ходом, неизбежна динамическая нагрузка ветром, который раскачивает высокие опоры конструкции.

Все это требует, чтобы при проектировании было обращено особое внимание на соединение элементов сооружения в одно неизменяемое целое, независимо от направления и характера расчетной нагрузки.

При осуществлении необходима плотная пригонка всех болтов с тщательной их затяжкой; в процессе эксплуатации болты должны проверяться и подтягиваться по мере усыхания древесины и вообще ослабления соединения.

Недостаточное внимание к этому вопросу может повести к расстройству всех соединений и даже к обрушению сооружения.

6. Примеры проектов <sup>1</sup>

**Пример 1.** Разборная эстакада Сенгилеевского портландцементного завода.

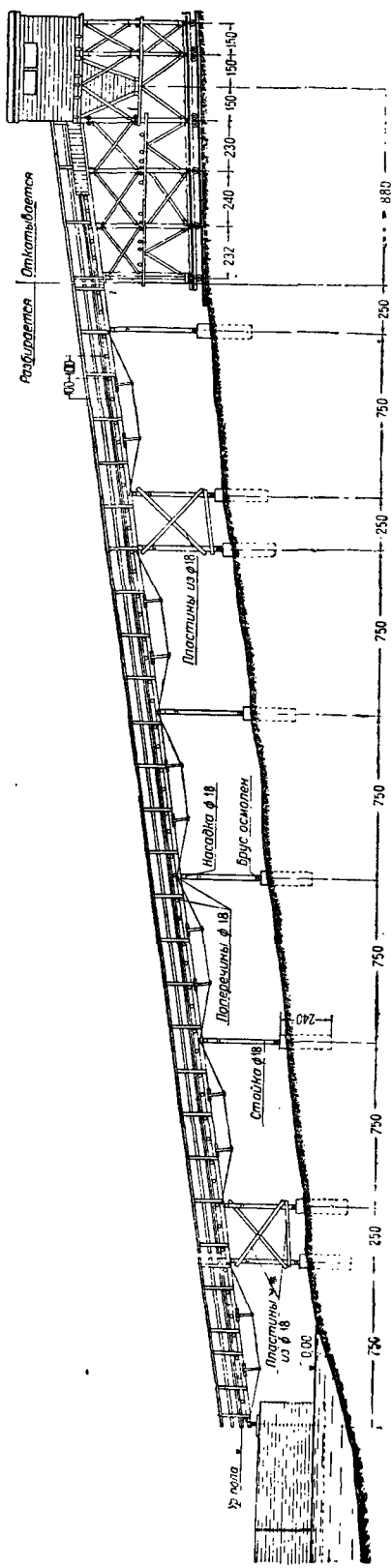
Эстакада предназначена для подачи угля и сланца в склад. Топливо прибывает по Волге и с дебаркадера перегружается на ленточный транспортер, идущий по эстакаде (фиг. 22).

Ленточный транспортер сыплет материал в бункер, откуда он перегружается на вагонетки канатной дороги. Последние по наклонной эстакаде (см. пример 2) передают транспортируемый материал в склад.

Так как эстакада (фиг. 22) одним концом опирается на дебаркадер, имеющий вертикальные перемещения в зависимости от уровня воды, первый пролет должен быть вращающимся; остальные пролеты эстакады должны быть разборными, так как в процессе эксплуатации по мере повышения уровня воды в Волге часть пролетов снимается. На зиму вся эстакада разбирается, складывается на дебаркадер и отводится в затон.

Правая часть эстакады несет перегрузочный бункер, моторы и натяжную станцию канатной дороги. При высоком уровне межених вод эта часть эстакады целиком отводится по рельсам на более высокое место. Указанные особенности эксплуатации определили конструкцию галлерей.

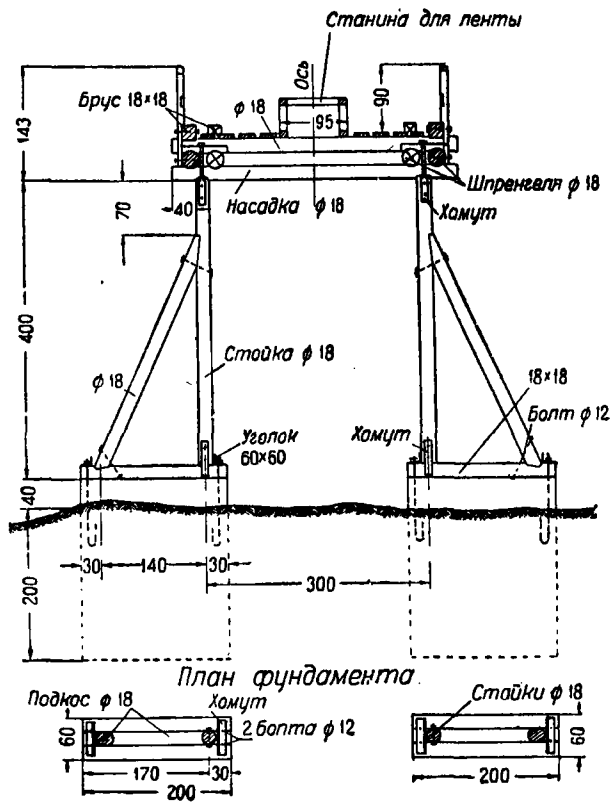
Левая разборная часть состоит из шести пролетов по 7,5 м, перекрытых шпренгельными балками (фиг. 23), состоящими из круглого прогона  $\varnothing 18$  см, стоек сечением  $8 \times 20$  см и железных затяжек. Поперечная устойчивость стоек достигается, во-первых, врубкой их в прогон, а во-вторых, расходящимися наклонными частями затяжек, играющих роль расчалок. Для данной эстакады, несущей транспортер с плавным ходом, этого достаточно. Если же такая конструкция поддерживает узкоколейный путь



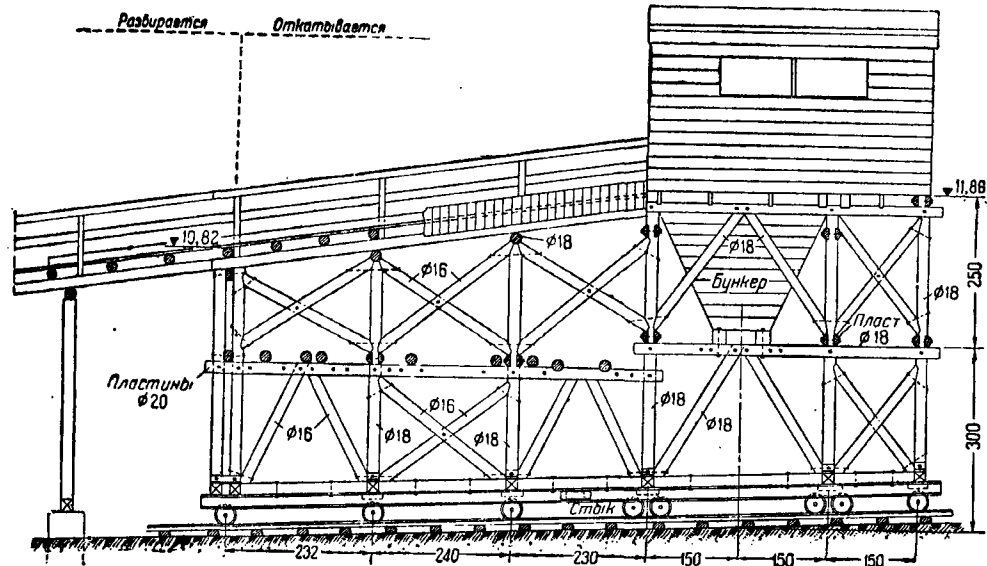
Фиг. 22. Общий вид разборной эстакады

<sup>1</sup> Проекты эстакад и галлерей, помещенные в примерах 1, 2 и 3, выполнены авторами в группе деревянных конструкций Цемпроекта.

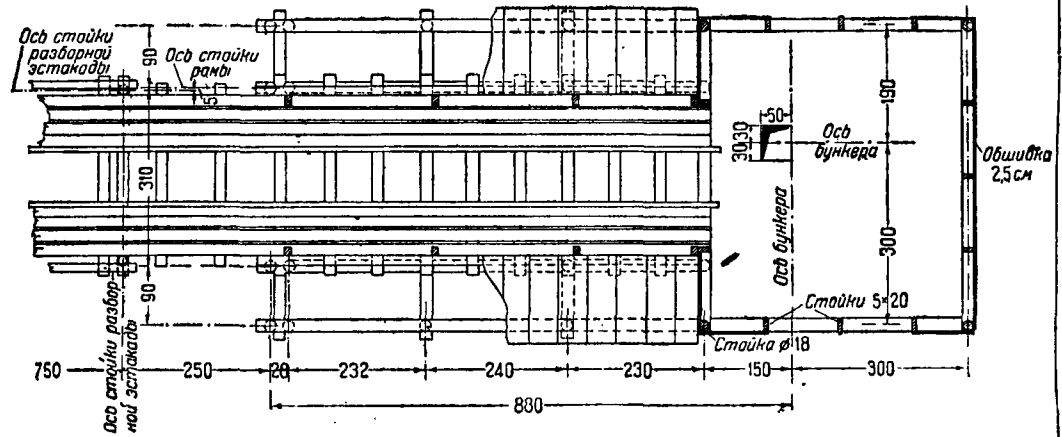




Фиг. 26. Поперечный разрез к фиг. 22



Фиг. 27а. Фасад к фиг. 22



Фиг. 27б. План к фиг. 22

под вагонетки, то необходимо стойки шпренгельной балки соединять в поперечном направлении в неизменяемую систему.

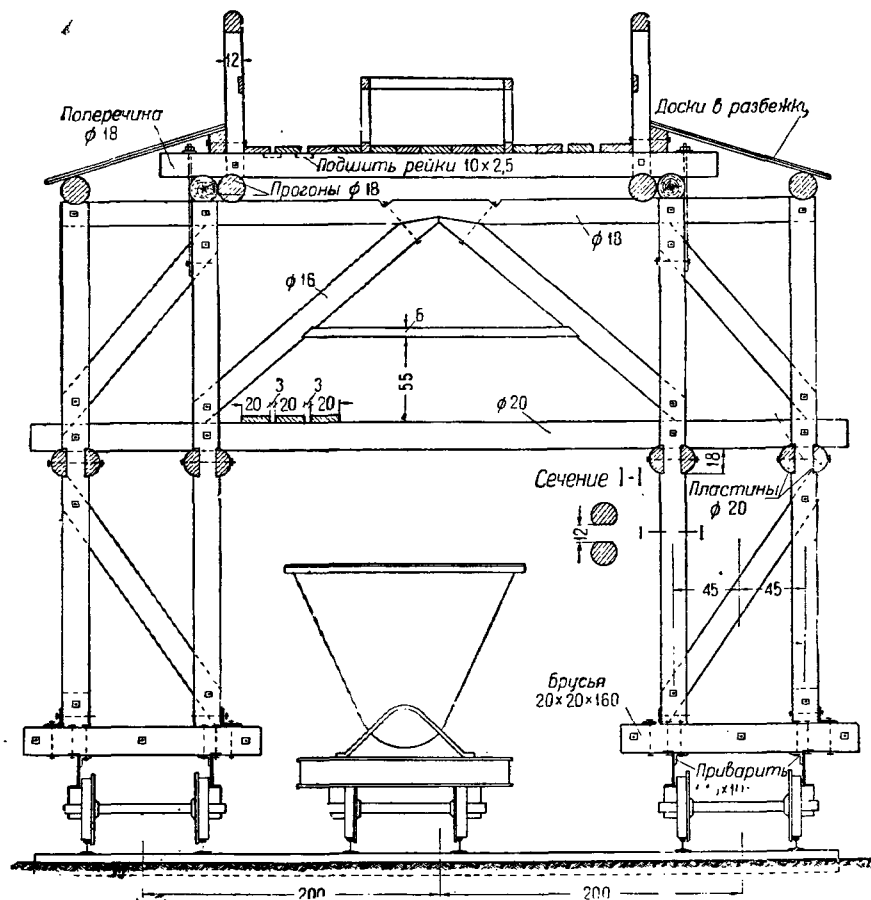
Проезжая часть состоит из поперечин  $\varnothing 18$  см, по которым уложен настил из досок 5 см. Поперечины прикреплены к шпренгелям хомутами и прижимными брусками, что облегчает разборку и повторную сборку эстакады.

Шпренгельные балки укладываются на насадки опор вразбежку и притягиваются к ним хомутами (фиг. 26). Опоры крайней балки различны.

ряда рам, поставленных на скаты (фиг. 28). Вдоль пути рамы связаны в неизменяемую систему. Над бункерами устроена будка, в которой расположены моторы. Подробности конструкций видны из чертежей.

Расход леса на 1 пог. м эстакады . . . . . 0,46 м<sup>3</sup>;  
• железа . . . . . 7,75 %.

Высокий процент железа и малый расход дерева объясняются применением шпренгелей с металлическими затяжками.



Фиг. 28. Поперечный разрез к фиг. 22

Конец ее, опирающийся на дебаркадер, показан на фиг. 24. Второй конец, решенный в виде шарнира, показан на фиг. 25.

Опоры (фиг. 26) представляют собой два отдельных треугольника, связанных поверху насадкой и опирающихся на бетонные фундаменты. Для удобства повторной сборки опоры крепятся к фундаментам хомутами.

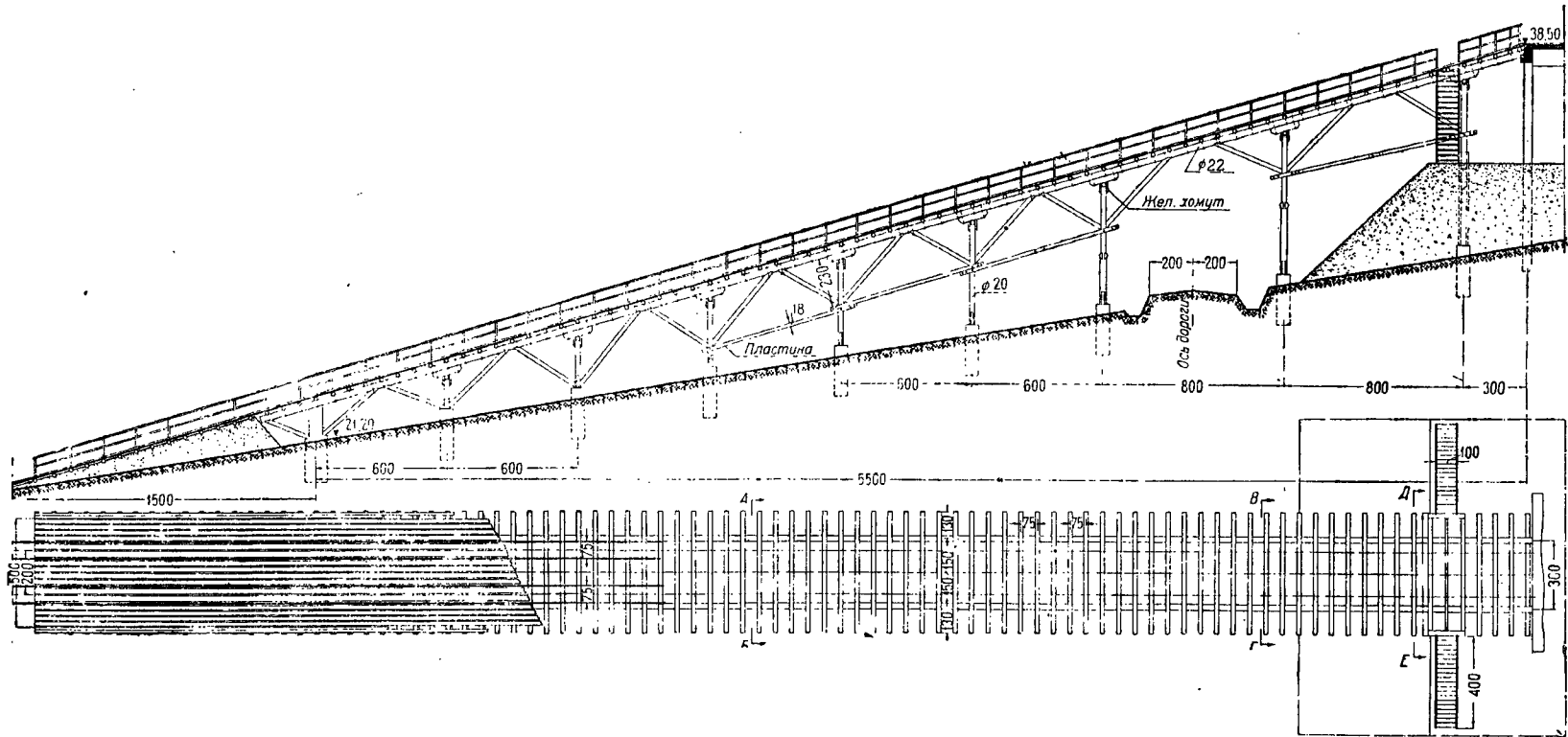
Законструированная таким образом эстакада легко разбирается на отдельные элементы (перила, проезжая часть, шпренгели, опоры) и вручную переносится на дебаркадер, так как самый тяжелый элемент — шпренгельная балка — весит только 130 кг.

Первая, откатывающаяся часть эстакады (фиг. 27, 28), несущая бункер и натяжную станцию канатной дороги, состоит из

**Пример 2.** Эстакада Сengiлеевского портоландцементного завода для вагонеток, нагружаемых сланцем или углем.

Загрузка вагонеток углем производится из бункера эстакады, рассмотренной в примере 1.

Системы конструкций — балочно-подкосные и одноподкосные в зависимости от пролета (фиг. 29). Пролеты ферм 6 и 8 м в зависимости от высоты опор и потребных габаритов. У фермы, перекрывающей пролет над дорогой, удалена затяжка, мешающая проезду. Распор передается на соседние пролеты. Конструкция опор и проезжей части видна на фиг. 30—32. Последняя опора, проходящая в насыпи, заключена в открытый ящик из осмоленных досок, что обеспечивает ее проветривание и предохраняет от соприкоснове-

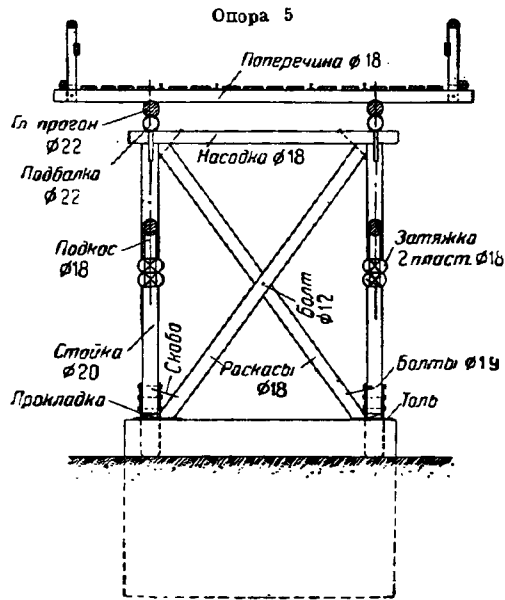


Фиг. 29. Эстакада для вагонеток (Сепгилст)

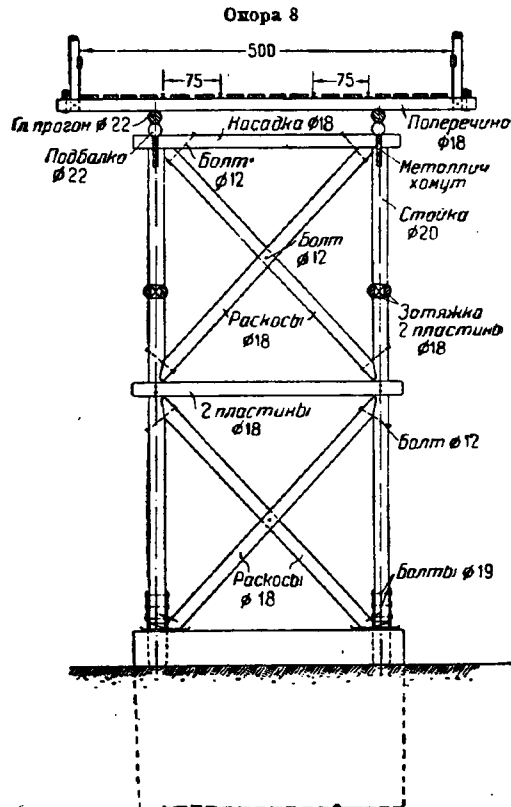
ния с грунтом насыпи, задерживающим атмосферную влагу.

Детали конструкций видны из чертежей.

Расход леса на 1 пог. м эстакады . 0,83 м<sup>3</sup>  
 железа . . . . . 2,48%

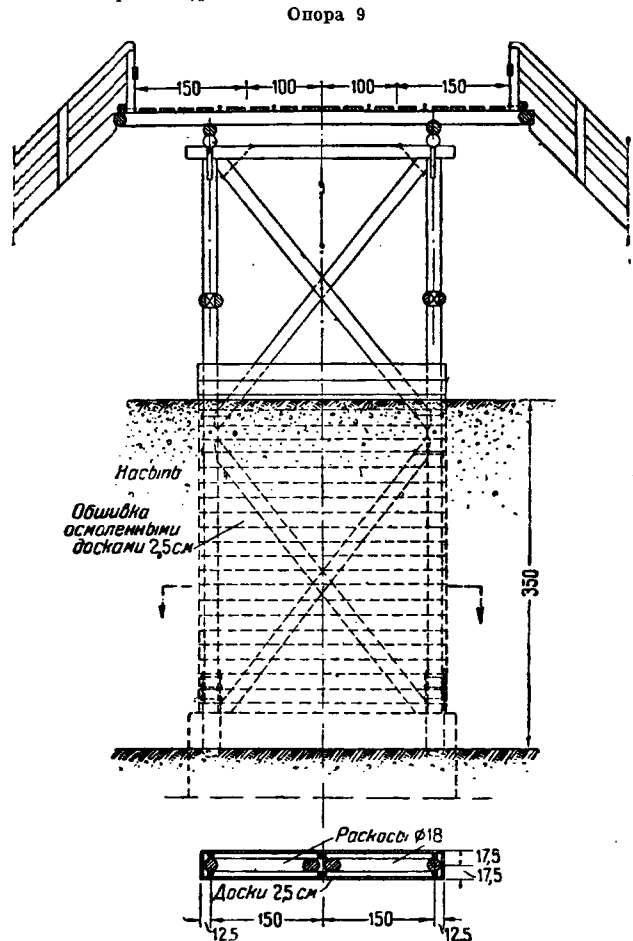


Фиг. 30. Конструкция опор и проезжей части (к Фиг. 29)



Фиг. 31. Конструкция опор и проезжей части (к Фиг. 29)

Пример 3. Галерея Новоспасского порландцементного завода под транспортер, подающий глину из вальцовки в склад сырья (Фиг. 33)



Фиг. 32. Конструкция опор и проезжей части (к Фиг. 29)

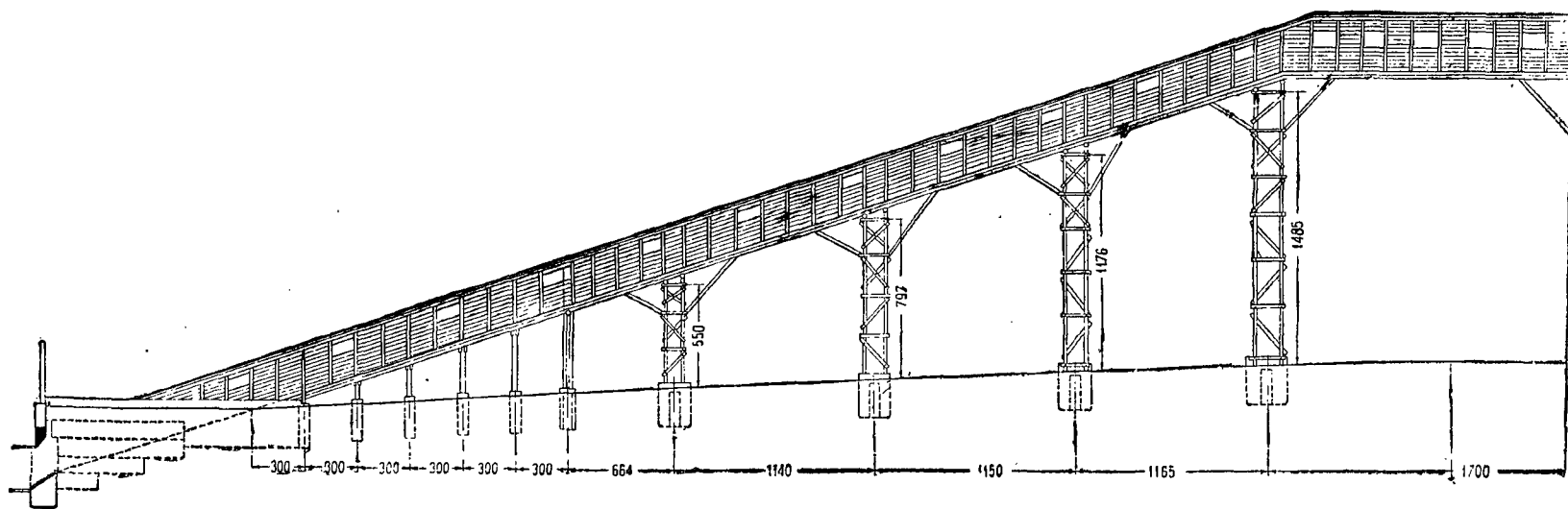
Галерея состоит из наклонного и горизонтального участков. В первом пролеты изменяются вместе с изменением высоты. Конструкция пролетного строения видна из чертежей. Опоры в нижней части галереи — типа *a* и *b*, начиная же с высоты 6 м — типа *c* (Фиг. 34 и 35). Стены из холодных щитов. Кровля — рубероидная.

Балки пола расшиты ветровыми раскосами. Ветровое усилие передается через ветровые связи пола и жесткую кровлю на опоры.

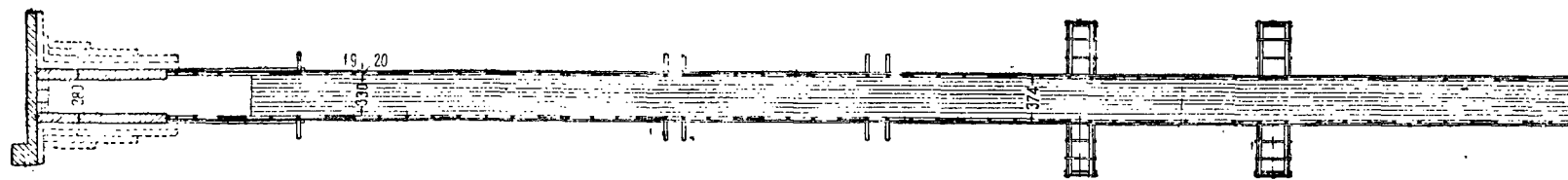
Такое решение принято потому, что необходимый срок службы галереи — 4 года. Если бы галерея сооружалась на более длительный срок, лучше было бы над опорами установить рамы, на которые и передать ветровую нагрузку.

Галерея осуществляется без лесов. Порядок производства работ следующий. Участок галереи между первыми шестью опорами возводится непосредственно с земли. Затем устанавливаются четыре высокие опоры вместе с подкосами, прогонами в пределах подкосов и полом. С получившихся таким образом площадок укладываются средние пролеты прогонов и оставшаяся часть

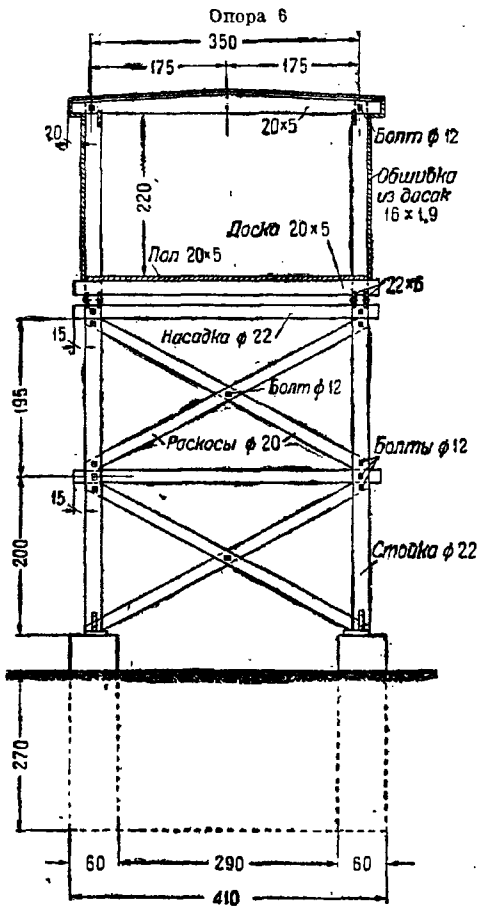




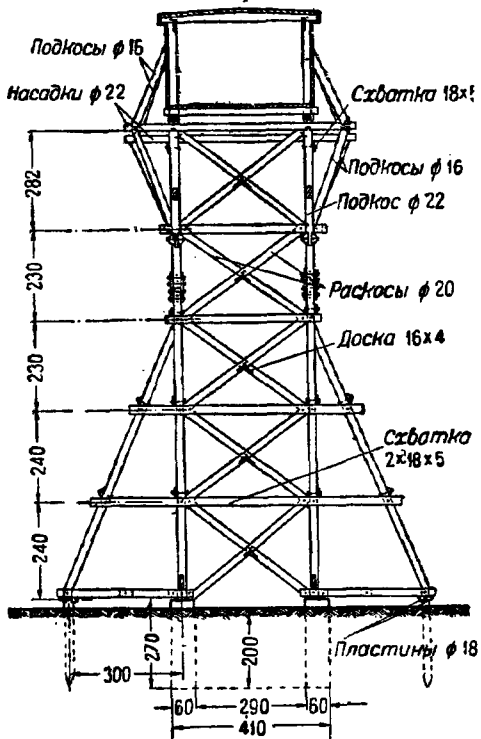
Продольный разрез галлерей



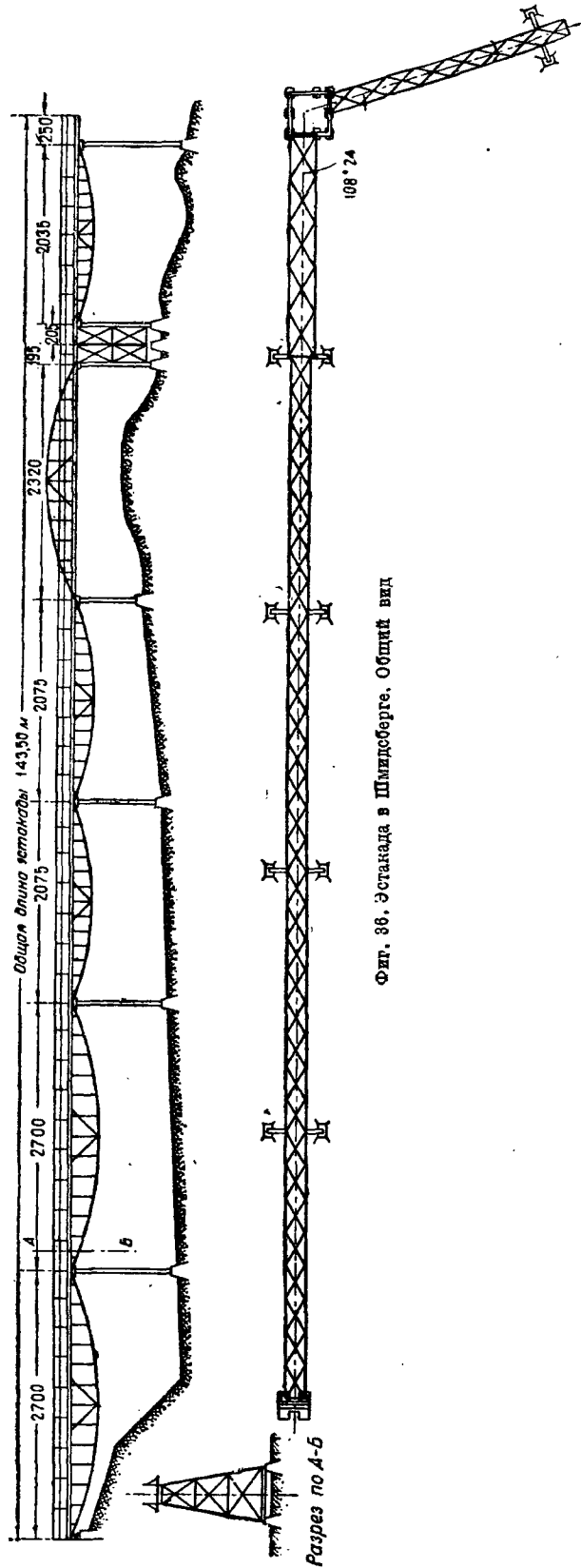
План галлерей.  
Фиг. 33. Галлерей для подачи известняка.



Фиг. 34. Поперечный разрез к Фиг. 33  
Опора 6



Фиг. 35. Поперечный разрез к Фиг. 33  
Опора 9

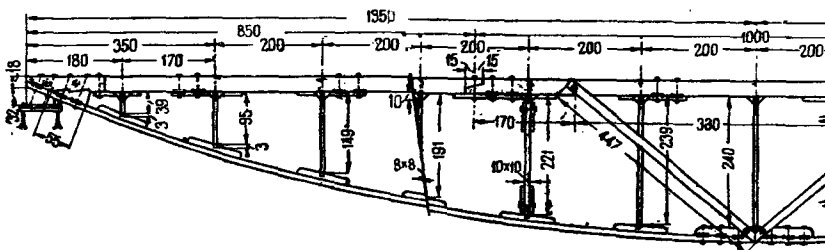


Фиг. 36. Эстакада в Шмидеберге. Общий вид

пола. Стены, составленные из щитов, и кровля устанавливаются с пола галлерей.

Расход леса на 1 пог. м галлерей . 1,26 м<sup>3</sup>  
железа . . . . . 2,10%

2. Кобылкин В. Н., Деревянные мосты, Пример расчета, ОГИЗ Гострансиздат, М. 1931 г.  
3. Керстен К., Современные инженерные деревянные конструкции, ОГИЗ Гострансиздат, М. 1932 г.



Фиг. 37. Продольный разрез фермы к фиг. 36

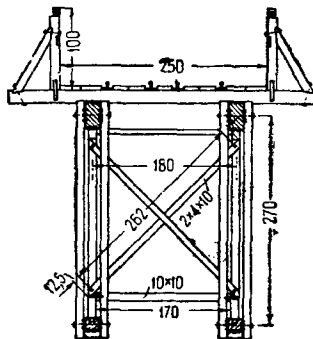
**Пример 4.** Эстакада для вагонеток в испанских горах у Шмидсберга<sup>1</sup> (фиг. 36).

Эстакада предназначена для двухпутного узкоколейного пути под вагонетки. Пролетное строение состоит из обычной проезжей части и главных ферм в виде сегментных шпренгелей. Верхний пояс ферм имеет 2 стыка (фиг. 37), играющих роль шарниров, поэтому для сохранения неизменяемости системы поставлены 2 раскоса; получившаяся система статически неопределима.

Подробности конструкции видны из фиг. 37 и 38.

Недостатком конструкции является незащищенность ее от загнивания. Нижний пояс и раскосы, выполненные из досок, в месте соединения образуют мешок, в котором могут скопиться снег, грязь и влага.

4. Скрябин И. Е., Примеры расчета элементов деревянных мостов, ч. 1, ОГИЗ Гострансиздат, М. 1931 г.



Фиг. 38. Поперечный разрез фермы к фиг. 36

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Патон Е. О., Руководство по восстановлению разрушенных ж.-д. мостов, ч. 1. Деревянные мосты, изд. Технич. управления НКПС, Киев 1924 г.

Проф. Е. Е. ГИБШМАН

**ХП. МОСТЫ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРОЛЕТОВ**

**1. Общие сведения о мостах**

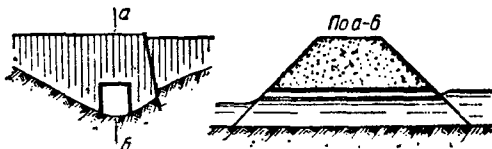
**1) Основные понятия**

**а) Общие сведения**

Дорога на своем пути встречает препятствия в виде ручьев, рек, оврагов, суходолов и др., для перевода через которые и сохранения непрерывности пути устраивают искусственные сооружения — мосты или трубы.

Трубы являются простейшими искусственными сооружениями и прокладываются в местах, где под полотном дороги необходимо пропустить незначительное количество воды. Отличительной особенностью трубы является засыпка ее насыпью (фиг. 1).

В тех случаях, когда количество притекающей воды значительно, прибегают к устройству моста (фиг. 2 и



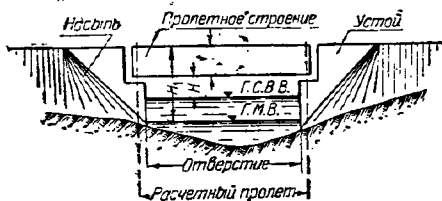
Фиг. 1. Схема трубы

<sup>1</sup> Подробности выполнения эстакады и расчет конструкций см. «Baupingenieur», 1921 г., стр. 463, а также статью «Сложные системы плоскостных деревянных конструкций в приложении их к мостостроению больших пролетов».

Всякий мост состоит из пролетных строений, поддерживающих ездовое полотно, и опор, передающих опорные давления пролетных строений в грунт.

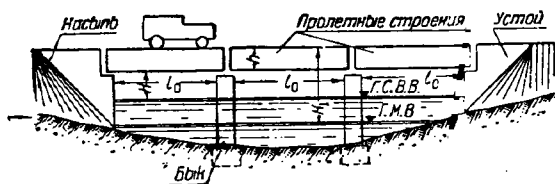
Если у моста только две опоры (по концам), мост называют однопролетным (фиг. 2), при наличии же промежуточных опор — многопролетным (фиг. 3). Крайние опоры, расположенные в местах сопряжения моста с насыпями, называют устоями, промежуточные опоры — быками.

Отверстием моста называют: в однопролетных мостах — расстояние (для пропуска воды) между внутренними гранями устоев, в многопролетных мостах — сумму расстояний между отдельными опорами ( $\Sigma l_0$ ).



Фиг. 2. Схема однопролетного моста

Высотой моста  $H_1$  называют расстояние от поверхности проезда на мосту до поверхности нижележащей дороги или до горизонта межених вод (г. м. в.) реки (фиг. 2). Расстояние  $H$  от низа пролетных строений до горизонта самых высоких вод (г. с. в. в.) реки или до расчетного судоходного горизонта определяется безопасностью пропуска высокой воды или же требованиями судоходства.



Фиг. 3. Схема многопролетного моста с ездой поверху

Строительной высотой моста называют расстояние  $h$  от поверхности ездового полотна на мосту до низа пролетного строения.

#### б) Классификация

В зависимости от положения проезжей части различают:

- 1) мосты с ездой поверху — проезжая часть расположена поверху пролетных строений (фиг. 2 и 3);
- 2) мосты с ездой понизу — проезжая часть расположена по низу пролетных строений (фиг. 4);
- 3) мосты с ездой посредине — проезжая часть расположена в пределах высоты пролетных строений.

В зависимости от рода обращающейся по мосту нагрузки различают:

- 1) мосты под железную дорогу;
- 2) мосты под автожелезную дорогу;
- 3) пешеходные мосты;
- 4) мосты для пропуска трубопроводов (акведуки) или каналов (мосты-каналы);
- 5) мосты совмещенного назначения.

В зависимости от условий устройства и конструктивных особенностей мосты могут быть разделены на следующие основные типы:

- 1) мосты обычного типа высокого уровня;
- 2) разводные мосты;

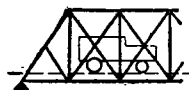
- 3) трансбордеры, или мостовые паромы;
- 4) наплавные мосты.

Кроме того мосты могут быть подразделены на:

- 1) собственно мосты;
- 2) путепроводы;
- 3) виадуки;
- 4) эстакады.

Мостами обычного типа или мостами высокого уровня называют мосты, переводящие дорогу через реку настолько возвышенно, чтобы не препятствовать судоходству или сплаву (фиг. 3 и 5). Поэтому особенностью мостов этого типа является возвышение низа пролетных строений над горизонтом самых высоких вод на величину  $H$  (фиг. 3), равную (или большую) величине судоходного габарита для данной реки. В случаях отсутствия на реке судоходства или сплава леса величина  $H$  определяется безопасностью пропуска под мостом высоких вод (обычно  $H > 0,25-0,5$  м).

Разводными мостами называют мосты пониженного типа, в которых низ пролетных строений опущен настолько близко к воде, что препятствует судоходству. В этом случае для пропуска судов делают разводной пролет (фиг. 6). Особенностью разводных мостов кроме сложности и высокой стоимости конструкции является неизбежность перерывов в движении как по мосту — при разведенном пролете, так и по реке — при закрытии разводного пролета.



Фиг. 4. Схема пролетного строения с ездой понизу

Трансбордеры, или мостовые паромы, устраиваются при необходимости пересечения широкого водного пространства дорогой со слабым движением. Трансбордер состоит из легкой конструкции, перекрывающей водное препятствие, поддерживающей движущуюся между берегами подвесную платформу, служащую для перевозки грузов. Трансбордеры обычно выполняются из металла.

Наплавные мосты на пловучих опорах из плотов, баржей, понтонов и пр. применяют при пересечениях широких и многоводных рек в тех случаях, когда устройство моста на постоянных опорах слишком дорого и не оправдывается предполагаемым грузооборотом по мосту.

Акведуки — сооружения, служащие для перевода трубопровода (водо-, нефте- или газопровода) через какое-либо препятствие: реку, овраг, лощину и др.

Мосты-каналы устраиваются при пересечении судоходным каналом реки или иного препятствия. Мосты-каналы представляют собою весьма тяжелые сооружения, выполняемые из камня или железобетона, реже — из металла.

Путепроводы — мосты, предназначенные для перевода одной дороги над другой (пересечение в разных уровнях) (фиг. 7).

Виадуки устраиваются при пересечении дорогой глубоких лощин, суходолов и др. взамен дорогой стоящей высокой насыпи. Обычно применение виадука становится выгоднее насыпи при глубине пересекемого препятствия более 25—30 м.

Эстакады — мостовые конструкции, служащие для ведения дороги на некоторой высоте над поверхностью земли с тем, чтобы ниже лежащее пространство могло быть использовано для поперечного проезда, расположении каких-либо



Фиг. 5. Мост обычного типа (высокого уровня)

устройств, пропуска воды и т. п. Наиболее часто эстакады встречаются в промышленном транспорте, а также при пересечении широких речных пойм.

#### в) Основные системы мостов

Различают мосты следующих систем: 1) балочные, 2) арочные, 3) висячие.

В балочных мостах пространство между опорами перекрывается горизонтальной балкой — сплошной или сквозной (ферма), работающей под действием вертикальной нагрузки на

изгиб и передающей опорам только вертикальные опорные давления.

В арочных мостах пространство между опорами перекрывается изогнутым брусом — аркой, упирающейся своими пятками в опоры. Под действием вертикальной нагрузки на опоры передаются наклонные давления, горизонтальные составляющие которых  $H$  называют распором.

Как частный случай распорного моста может рассматриваться подкосная система (фиг. 8), широко применяемая в деревянных мостах.

Висячие мосты поддерживаются канатами (кабелями) или цепями, работающими на растяжение и передающими на опоры кроме вертикального давления также и горизонтальный распор, направленный внутрь пролета моста.

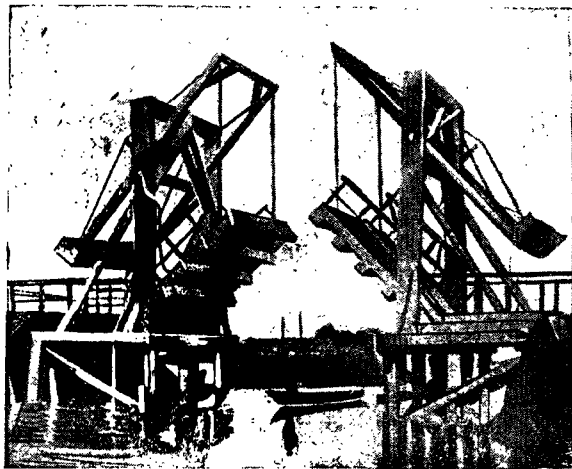
#### г) Основные элементы пролетного строения

Конструкция, служащая для передачи давлений от проходящих по мосту грузов главным несущим элементам пролетного строения, называется проезжей частью.

Проезжая часть состоит из ездого полотна и системы поддерживающих его продольных и поперечных балок. По сторонам ездого полотна для прохода пешеходов устраивают тротуары.

Основные несущие элементы пролетного строения, перекрывающие пролет и поддерживающие проезжую часть, называют главными фермами (фиг. 9).

Так как кроме вертикальной нагрузки на пролетное строение может действовать горизонтал -



Фиг. 6. Разводной мост

ная ветровая нагрузка, а также горизонтальные толчки и усилия, вызванные проходом по мосту временной нагрузки, то для поперечной устойчивости главные фермы пролетных строений соединяются с в а з я м и, которые принято называть ветровыми.

Прочность элементов сооружения выражается требованием, чтобы напряжения во всех элементах, сопряжениях и соединениях сооружения не превосходили допустимых.

Устойчивостью сооружения называют способность его сохранять свою первоначальную



Фиг. 7. Путепровод над железной дорогой

Ветровые связи бывают горизонтальные (продольные) и вертикальные (поперечные). Продольные связи обычно располагаются вдоль поясов главных ферм, поперечные связи — в вертикальных плоскостях между главными фермами.

## 2) Основные требования, предъявляемые к мосту

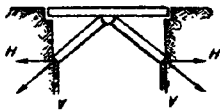
Всякий мост, являясь ответственным дорожным сооружением, должен удовлетворять ряду требований эксплуатационного, технического, экономического и другого характера.

Эксплуатационные требования заключаются в том, что движение по мосту должно быть удобным и безопасным. Для этого проезжая часть моста должна иметь достаточную ширину проезда и тротуаров, чтобы не вызывать задержек движения. Все сооружение должно иметь конструкцию, обеспечивающую достаточный срок службы и дающую возможность удобного осмотра и ремонта отдельных элементов.

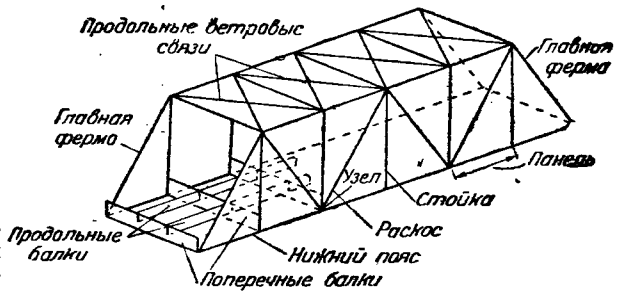
Технические требования сводятся к необходимости обеспечения прочности, устойчивости и жесткости всего сооружения в целом и отдельных его элементов.

форму и положение при действии внешних нагрузок.

Пролетное строение в целом должно быть устойчиво против опрокидывания ветром; сжатые элементы должны быть устойчивыми на продольный изгиб и т. д.



Фиг. 8. Схема подкосного моста



Фиг. 9. Схема пролетного строения моста

Жесткость сооружения определяется условием, чтобы деформации его под действием нагрузок не превосходили известных пределов, выработанных практикой мостостроения.

Экономические требования заключаются в обеспечении наименьшей стоимости сооружения, состоящей из стоимости постройки

и капитализированной стоимости содержания и ремонта.

Полную капитализированную стоимость сооружения, приводимую к моменту постройки, можно выразить формулой:

$$k = k_1 + pk_1 \frac{(1+\gamma)^t - 1}{\gamma(1+\gamma)^t} + k_1 \frac{(\beta - \alpha)}{(1+\gamma)^t} = k_1 \left[ 1 + p \frac{(1+\gamma)^t - 1}{\gamma(1+\gamma)^t} + \frac{(\beta - \alpha)}{(1+\gamma)^t} \right], \quad (1)$$

где  $k_1$  — стоимость постройки моста (строительная стоимость);

$t$  — расчетный срок службы моста;

$pk_1$  — ежегодная стоимость содержания и ремонта моста;

$\beta k_1$  — стоимость постройки нового моста через  $t$  лет;

$\alpha k_1$  — стоимость, которую сохранит старый мост к моменту перестройки (через  $t$  лет);

$\gamma$  — процент роста капитала.

На основании данных для деревянных мостов могут приниматься следующие значения величин  $p$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  и  $t$ :

$$p = 0,02 - 0,03; \quad \alpha = 0,05 - 0,15; \\ t = 10 - 20 \text{ лет}; \quad \beta = 1.$$

Приводимая формула далеко не полно отражает весь комплекс экономических требований, предъявляемых к сооружению, и для социалистической формы хозяйства страдает условностью понятия о величине  $\gamma$ .

Эстетические требования предъявляются к внешнему виду моста как со стороны, так и при проезде по нему. Наиболее серьезные эстетические требования предъявляют к мостам, расположенным в городах и населенных центрах или вблизи них.

### 3) Защита мостов от загнивания

Мероприятия, применяемые для предохранения деревянных мостов от загнивания, разделяются на:

а) физические, заключающиеся в предохранении дерева от увлажнения атмосферными осадками;

б) химические, заключающиеся в обработке дерева веществами, делающими древесину непригодной для питания бактерий.

#### а) Физические меры борьбы с загниванием

Защита деревянных мостов от увлажнения атмосферными осадками может применяться как к отдельным частям сооружения (частичная защита), так и ко всему сооружению в целом (полная защита). При этом должна обеспечиваться надежная вентиляция конструкции для быстрого ее просыхания.

Частичная защита мостов достигается устройством продольного и поперечного уклонов проезжей части, обеспечивающих сток с нее воды. Величина уклонов зависит от типа одежды и может быть принята согласно следующим данным:

| Тип одежды               | Продольный уклон в % | Поперечный уклон в % |
|--------------------------|----------------------|----------------------|
| Дощатый настил . . . . . | 1,0—2,0              | 1,5—2,0              |
| Щебенка . . . . .        | 2,0—2,5              | 2,5—3,0              |
| Асфальт . . . . .        | 0,5—1,0              | 1,0                  |

Для стока воды в длинных мостах у тротуаров устраиваются лотки и трубы, отводящие воду под мост. Число и диаметр водоотводных труб могут быть ориентировочно определены из расчета 1,5—2,0 см<sup>2</sup> отверстия на каждый квадратный метр поверхности моста.

С точки зрения защиты от гниения наилучшим является верхнее покрытие проезжей части из асфальта, бетона и т. п. Дощатый настил и щебеночная одежда в этом отношении являются наименее надежными и требуют обеспечения хорошей вентиляции нижележащей конструкции.

Предохранение прогонов, поясов ферм, стыков и т. п. от атмосферных осадков осуществляется устройством деревянных крышек, козырьков и навесов, а также обшивкой конструкции кровельным железом (с прокраской), толем, рубероидом и пр.

Полная защита мостов от атмосферных осадков достигается обшивкой их со всех сторон досками. В мостах с едой пониже верхняя обшивка делается в виде двускатной крыши. Для вентиляции в боковой обшивке следует оставить окна или не доводить ее доверху.

Полная обшивка мостов значительно увеличивает срок их службы. Основным недостатком сплошной обшивки является увеличение собственного веса моста и площади, подверженной действию ветра.

Кроме упомянутых выше конструктивных мер следует применять окраску дерева газовой или древесной смолой, олифой с примесью охры, масляной краской. Окрашивать можно только сухое дерево.

#### б) Химические меры борьбы с загниванием

Из антисептиков, применяемых для защиты дерева от загнивания, наиболее употребительны маслянистые: креозот и антраценовое масло (карболинеум). Действие креозота на гнилостные бактерии наиболее радикально; кроме того он защищает древесину от повышения влажности, а также от интенсивного высыхания. Антраценовое масло обладает более слабыми антисептическими свойствами.

Обработка дерева антисептиками может производиться при помощи окраски, обмазки и опрыскивания или лучше путем пропитки дерева выдерживанием его в растворах антисептика.

Для пропитки элементов деревянных мостов можно рекомендовать применение способа горячих и холодных ванн<sup>1</sup>.

Способ пропитки дерева под давлением, дающий наилучшие результаты, требует однако весьма сложного специального оборудования и для мостов не применяется.

Применяемые в промышленном строительстве и для предохранения от загнивания телеграфных столбов антисептики, содержащие фтористый натрий, на деревянных мостах еще не были испытаны.

## 2. Основные данные для проектирования деревянных мостов

### 1) Определение генеральных размеров моста

Генеральными, или основными, размерами моста, обуславливающими его характер,

<sup>1</sup> См. стр. 853.

герные особенности, являются: 1) отверстие моста и величины отдельных пролетов в свету; 2) ширина проезда по мосту; 3) высота моста; 4) подмостовой габарит, т. е. расстояние от поверхности нижележащей дороги или судоходного горизонта до низа конструкции моста.

Отверстие моста определяется гидравлическим расчетом на пропуск воды при наивысшем ее горизонте.

Величина отверстий в свету отдельных пролетов моста может определяться как судоходными требованиями, так и условиями беспрепятственного пропуска под мостом ледохода.

При разбивке моста на пролеты необходимо учитывать экономические требования.

Стоимость многопролетного моста будет наименьшей при пролете  $l_{наис}$ , для которого стоимость одного пролетного строения без учета проезжей части равняется стоимости одной опоры.

Наивыгоднейший пролет может быть также определен по формуле:

$$l_{наис} = \sqrt{\frac{v_1 k_2}{a k_1}}, \quad (2)$$

где  $v_1$  — затраты материала на одну промежуточную опору с ледорезом;

$a$  — коэффициент, входящий в формулу, определяющую вес главных ферм моста  $p = a l$ ;

$k_1$  и  $k_2$  — стоимость в денежном выражении материала пролетного строения и опоры.

## 2) Расчетные нагрузки

Расчетные нагрузки можно разделить на: 1) вертикальные и 2) горизонтальные.

Вертикальная временная нагрузка для автодорожных мостов (ОСТ 4926) предусматривает шесть классов поездов<sup>1</sup> грузовых автомобилей, а также нагрузку толпой.

Класс автомобильной нагрузки принимается в зависимости от технического класса дороги и обращающихся по ней грузовиков<sup>2</sup>.

Каждому классу нагрузки присвоено определенное обозначение, состоящее из буквы «Н» (эн) и цифры, указывающей общий вес одного из основных грузовиков. Таким образом нагрузки Н10; Н8; Н4; Н2,5 и Н1,5 составляют соответственно из ряда основных грузовиков весом в 10; 8; 4; 2,5; 1,5 т. В каждом из классов нагрузок Н10; Н8 и Н6 в продольном ряду автомобилей устанавливается один более тяжелый грузовик соближенным расстоянием между ним и следующей за ним машиной.

Для облегчения расчетов вместо поезда грузовиков можно пользоваться эквивалентными нагрузками<sup>3</sup>.

В случае загрузки моста более чем двумя рядами грузовиков при расчете усилий в главных фермах и поперечных балках проезжей части нагрузка снижается:

при загрузке тремя рядами — на 15% от нагрузки всех рядов;

при загрузке четырьмя рядами — на 25% от нагрузки всех рядов.

Горизонтальной нагрузкой является давление ветра на поверхность сооружения<sup>4</sup>.

## 3) Габариты проезда

Габаритом проезда называют предельное очертание моста в поперечном разрезе, внутри которого не могут вдавливаться никакие части конструкции.

Согласно ОСТ 5265 установлено шесть классов габаритов, назначаемых в зависимости от интенсивности автогужевого и пешеходного движения, в соответствии с техническими классами дорог<sup>5</sup>.

При габаритах Г1 и Г2 обязательно устройство тротуаров шириной при слабом и среднем пешеходном движении 0,75 м, при сильном — 1,25—1,50 м.

## 4) Подмостовые габариты и судоходные требования

Подмостовыми габаритами называются очертания отверстий в мостах, служащих для пропуска судов и сплава. Эти отверстия ограничены снизу горизонтом воды, с боков — опорами моста и сверху — нивом пролетного строения.

Судоходная (сплавная) часть моста должна располагаться над фарватером реки и по возможности так, чтобы опоры моста не стесняли движения судов по водотоку. Количество, величина и возвышение судоходных пролетов определяются согласно ОСТ ВКС 6432. В зависимости от условий судоходства и сплава и от многоводности все реки разделяются на ряд категорий; данные о подмостовых габаритах рек различной категории приводятся в табл. 1.

Расчетный судоходный горизонт представляет собою наивысший горизонт реки в судоходный период и обычно несколько ниже отметки горизонта самых высоких вод. Отметка расчетного горизонта определяется на основании водомерных наблюдений в районе расположения проектируемого моста.

Пролеты несудоходных и несплавных рек (внекатегорных), а также несудоходные пролеты судоходных рек назначаются по экономическим соображениям с учетом режима реки в отношении ледохода и протекания высоких вод. Возвышение низа ферм над расчетным горизонтом вод (с учетом подпора) принимается не менее 0,25 м, а над расчетным горизонтом ледохода — не менее 0,75 м.

В путепроводах подмостовой габарит определяется габаритом приближения строения для путей или дороги, располагаемых снизу.

## 3. Балочные мосты

Балочные мосты являются простейшим типом деревянных мостов и применяются для перекрытия пролетов 6—8 м. Балочные мосты состоят из опор и пролетных строений в виде балок (прогонов), перекрывающих расстояние между опорами. Поверх этих прогонов укладывается проезжая часть моста.

В зависимости от ширины пересекаемого водотока балочные мосты могут быть однопролетными или многопролетными.

Для мостов через широкие реки балочная система применяется редко.

### 1) Простейшие балочные мосты

Простейший балочный мостик небольшого пролета под легкую нагрузку представлен на фиг. 10.

<sup>1</sup> «Поезд автомобилей» представляет собой ряд грузовиков, следующих один за другим на определенном расстоянии.

<sup>2</sup> См. т. II, стр. 668, табл. 252.

<sup>3</sup> См. т. II, стр. 670, табл. 255а.

<sup>4</sup> См. т. II, стр. 655.

<sup>5</sup> См. т. II, стр. 666.



Подмостовые габариты для постоянных и временных мостов на судоходных и сплавных реках

| Разряды рек             | Род судоходства  | Категория     | Длина пролета в свету в м      |       |                   |       | Протяжение повышенной части пролета в м |       |                   |       | Высота отверстия над расчетным горизонтом в м |       |        |         | Минимальная глубина при самом низком судоходном горизонте (см. § 16) |  |
|-------------------------|--|---------------|--------------------------------|-------|-------------------|-------|---|-------|-------------------|-------|---|-------|--------|---------|--|--|
|                         |  |               | при одном пролете              |       | при двух пролетах |       | при одном пролете                       |       | при двух пролетах |       | по середине пролета                           |       | у опор |         |  |  |
|                         |  |               | пост.                          | врем. | пост.             | врем. | пост.                                   | врем. | пост.             | врем. | пост.   | врем. | пост.  | врем.   |  |  |
| Сверхмагистрали         | Морские и речные трехэтажные пароходы и теплоходы до 1 800 э. л. с.  | Вне категории | По особому согласованию НКВода |       |                   |       |   |       |                   |       |   |       |        |         |  |  |
| Магистрали 1-го разряда | Трехэтажные до 1 200 э. л. с. и двухэтажные до 600 э. л. с. . . . .  | I             | 150                            | —     | 120               | —     | 100—75                                  | —     | 80—60             | —     | 13  | —     | 4      | —       | 2,50   |  |
| Магистрали 2-го разряда | Двухэтажные от 600 до 300 э. л. с. . . . .                           | II            | 120                            | —     | 100               | 50    | 80—60                                   | —     | 65—50             | 25    | 10  | 9,5   | 3,5    | 3,5     | 1,50   |  |
| Магистрали 3-го разряда | Двухэтажные и одноэтажные от 300 до 120 э. л. с. . . . .             | III           | 80                             | 50    | 50                | 80    | 40                                      | 25    | 25                | 15    | 9,5   | 6,5   | 2,5    | 1,5     | 1,00   |  |
| Речи местного сообщения | Мелкосидящие суда и катера до 140 э. л. с. и сплавные суда . . . . . | IV            | 50                             | 30    | 30                | 20    | 25                                      | 15    | 15                | 10    | 5   | 4     | 1,5    | 1,0     | 0,75   |  |
| Сплавные                | Сплав плотов . . . . .   | V             | 20                             | 16    | 20                | 16    | 10                                      | 8     | 10                | 8     | 4   | 3     | 1,0    | 1,0     | —  |  |
| —                       | Сплав россышью . . . . .   | VI            | 16—9                           | 9—6   | 16—9              | 9—6   | 8—4,5                                   | 4,5—6 | 8—4,5             | 4,5—6 | 1,5   | 1,5   | 1,0    | 1,0—1,5 | —  |  |

Примечания: 1. На реках I и II категорий с устойчивым уровнем протяжение повышенной части габарита принимается в  $\frac{2}{3}$  ширины отверстия внизу, т. е. на расчетном уровне, а при уровне с колебаниями более 4,00 м — в  $\frac{1}{2}$  ширины.

2. На реках III, IV, V и VI категорий протяжение повышенной части установлено в  $\frac{1}{2}$  ширины отверстия кроме отверстий шириной 6 м, которые не должны иметь выпяченных частей.

3. Ширина габаритов постоянных мостов на реках I и II категорий при двух судоходных пролетах в 120 и 100 м может быть с согласия НКВода уменьшена до 100 и 80 м с соответствующим уменьшением протяжения и выпяченных частей.



чины опираются на одноярусные прогоны из бревен длиной по 6,5 м. Прогоны опираются на свайные опоры через подбалки. Подбалки, связанные с прогонами болтами, служат для усиления прогонов при работе их на изгиб и для поддержания стыков прогонов.

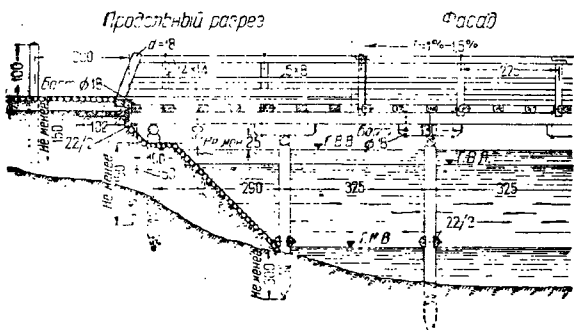


Рис. 12. Конструкция многопролетного балочного моста с пролетами по 3,25 м

3—4 м сваи необходимо связывать между собой в поперечном направлении горизонтальными и диагональными схватками из пластин или тонких бревен. При высоте опор более 5—6 м для увеличения поперечной жесткости моста устраиваются специальные подкосы-«укусины», упирающиеся

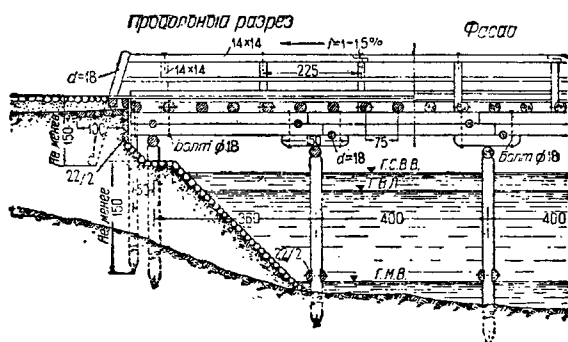
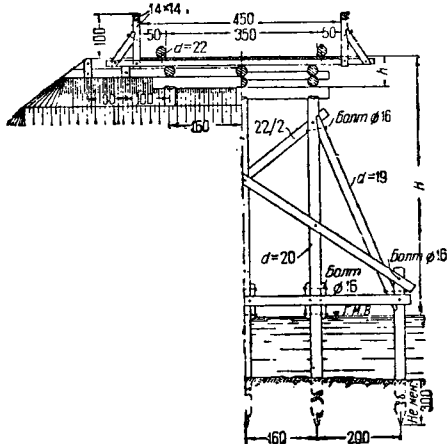
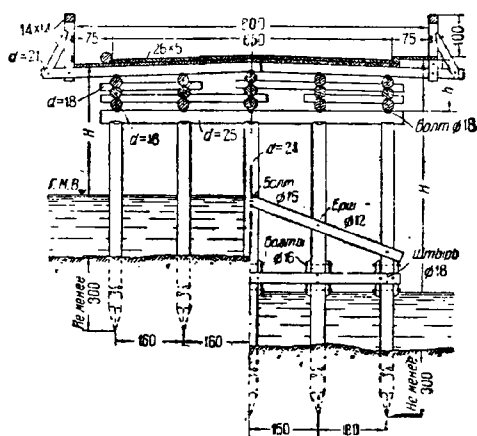


Рис. 13. Конструкция многопролетного балочного моста с пролетами по 4,0 м



Стыки прогонов располагаются над сваями через один пролет.

Соприжение с насыпью осуществлено в виде конуса с уклоном 1 : 1, мощеного одиночной мостовой. Верхняя часть насыпи поддерживается заборной стенкой, опирающейся на короткие сваи, забитые на глубину не менее 1,5 м. Для предотвращения просадок дороги при въезде на мост под песчаным слоем устроены деревянные щиты.

Проезжая часть ограничивается отбойными брусками, уложенными с просветами по 20 см для стока воды. По бокам проезжей части устроены перила.

Конструкция многопролетного балочного моста с пролетами по 4,0 м приведена на фиг. 13. Здесь прогоны имеют двухъярусное сечение. Стыки прогонов устроены над каждой опорой и поддерживаются подбалками. Поперечная жесткость и устойчивость прогонов обеспечиваются постановкой анкеров.

Типовые поперечные сечения балочных мостов для различных габаритов проезда приведены на фиг. 14.

При небольшой высоте моста опоры могут не иметь поперечных креплений. При высоте более

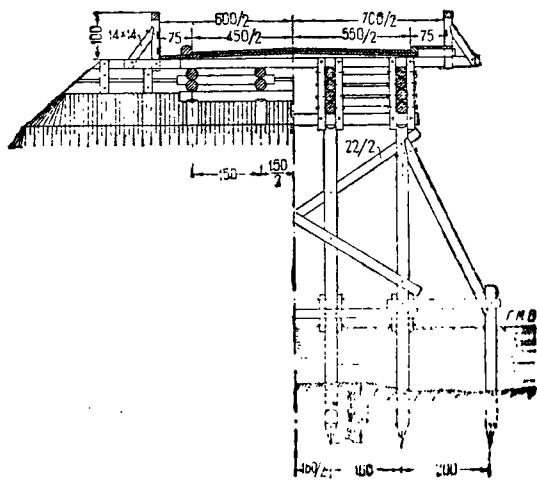
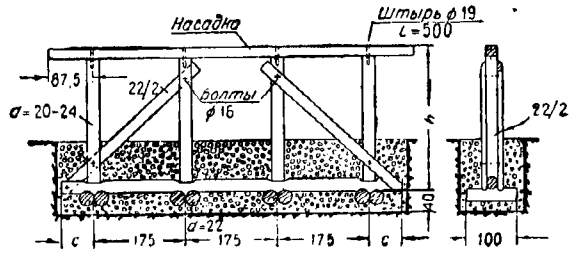
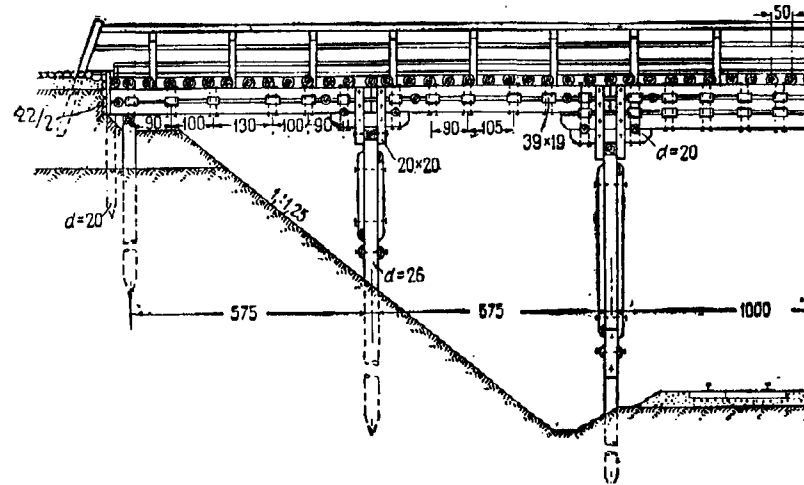


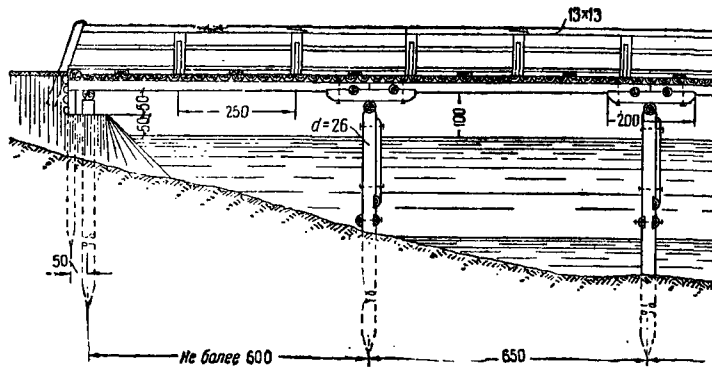
Рис. 14. Типовые поперечные сечения балочных мостов



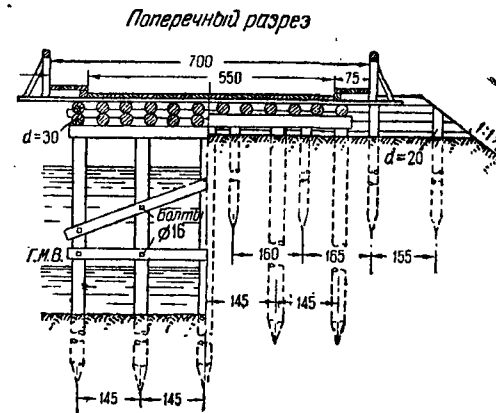
Фиг. 15. Простейшая рамная опора



Фиг. 16. Деревянный путепровод с прогонами на колодцах



Фиг. 17. Балочный мост с одноярусными прогонами



нижними концами в дополнительные «откосные» сваи.

При скалистом или каменистом грунте взамен свайных опор устраивают опоры рамного типа, опирающиеся на лежни, непосредственно укладываемые на грунт (фиг. 15).

**3) Балочные мосты с составными прогонами**

Для перекрытия пролетов более 8 м иногда применяются мосты с составными прогонами на шпонках или колодках.

Соединение шпонками вследствие усушки их постепенно ослабляется и требует подбивки шпенок и подтяжки болтов. Целесообразнее поэтому применение колодок, которые располагаются волокнами вдоль балки, вследствие чего усушка их происходит в тех же условиях, что и усушка соединяемых бревен, и прогоны меньше расстраиваются с течением времени, чем шпоночные.

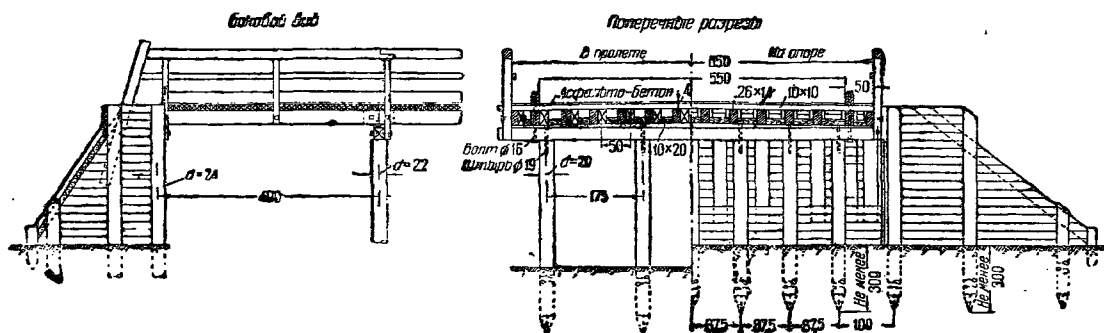
Механизация процессов изготовления и сборки облегчается в балочных мостах американского типа. Особенности таких мостов являются: применение в основном пиленого леса, упрощение конструкции и устройство асфальтобетонного полотна проезжей части.

Пример моста американского типа с пролетами по 4 м приведен на фиг. 18.

Прогоны моста брусчатые, уложены непосредственно по брусчатым же насадкам на расстоянии 0,5 м друг от друга и прикреплены к насадкам гвоздями. Для придания ездовому полотну поперечного уклона под прогоны поверх насадок положены клиновидные подкладки.

Для обеспечения надлежащего положения прогонов между ними поставлены короткие распорные брусочки, пришитые к насадке гвоздями. Стыки прогонов устроены на опорах внахлестку.

Проезжая часть моста состоит из сплошного поперечного настила из брусков сечением 10 × 10 см,



Фиг. 18. Балочный мост американского типа

В качестве примера балочного моста с прогонами на колодках на фиг. 16 приведена конструкция деревянного путепровода через железнодорожные пути с пролетами 10,0 и 5,75 м.

**4) Балочные мосты с одноярусными прогонами**

В целях уменьшения строительной высоты балочных мостов и сокращения количества болтов и скреплений применяют одноярусные прогоны.

Особенностью конструкции таких мостов является большое число прогонов в виде ряда бревен, располагаемых непосредственно по насадкам.

Конструкция моста с одноярусными прогонами  $l = 6$  м приведена на фиг. 17. Пролеты перекрыты одиночными прогонами, опирающимися концами через подбалки на насадки. В поперечном направлении прогоны расположены на расстоянии 0,53 м друг от друга и связаны между собой анкерами. Ввиду того что прогоны опираются на насадки не только над сваями, в рассматриваемой конструкции васадака работает не только на смятие, но и на изгиб.

Проезжая часть моста состоит из сплошного ряда пластин сечением 20 : 2 см, уложенных непосредственно поверх прогонов и покрытых в пределах ширины проезда продольным настилом из досок 24 × 6 см.

Преимуществами мостов с одноярусными прогонами кроме указанных выше являются также упрощение конструкции моста и облегчение процесса укладки прогонов при сборке моста.

пришитых к прогонам и связанных между собою горизонтальными гвоздями; бруски покрыты слоем асфальтобетона толщиной 4 см.

Насадки укрепляются на сваях помощью заостренных железных штырей, забиваемых через насадки в торцы свай.

Соприжение моста с берегом устроено в виде заборной стенки с откосными крыльями.

Изготовление элементов мостов американского типа целесообразно производить на заводах или стройдворах; монтаж мостов на месте должен быть обеспечен элементарным механическим оборудованием.

Применение балочных мостов американского типа позволяет упростить и ускорить процесс постройки сравнительно с балочными мостами других типов.

Для мостов американского типа желательно применять древесину, пропитанную антисептиком (креозот и т. п.).

**5) Расчет балочных мостов**

**Расчет проезжей части**

Расчет настила. Верхний настил проезжей части обычно не рассчитывается, и толщина его назначается по условиям износа от 5 до 7 см. Нижний настил рассчитывается на изгиб как балка с пролетом  $l$ , определяемым формулой:

$$l = l_0 + h, \tag{3}$$

где  $l_0$  — расстояние в свету между поперечинами;

$h$  — толщина досок нижнего настила.

Величина  $l$  не должна превышать расстояния между осями поперечин.

Давление  $P$  от колеса экипажа считают распределенным: в случае продольного настила при ширине обода 40, 30 и 20 см соответственно на 3, 2,5 и 2 доски нижнего настила; в случае же перекрещивающихся настилов — поровну на 2 доски нижнего настила.

При устройстве щелевочной одежды давление колеса считается распределенным через толщину засыпки под углом  $45^\circ$ .

Расчет поперечин. Поперечины рассчитываются как свободно лежащие балки с пролетом, равным расстоянию между прогонами.

Если стыки досок настила, уложенного по поперечинам, расположены вразбежку, то при определении давления на поперечину от сосредоточенных грузов можно учитывать упругое распределение нагрузки.

Коэффициент упругой передачи нагрузки определяют по формуле:

$$K = \frac{8c^3 I_1}{l_1^3 I_2}, \quad (4)$$

где  $c$  — расстояние между осями поперечин;

$l_1$  — расстояние между осями прогонов (пролет поперечин);

$I_1$  — момент инерции поперечин;

$I_2$  — момент инерции досок нижнего настила, воспринимающих давление  $P$ .

Если значение  $K > 1/3$ , то давление от сосредоточенного груза передается на три поперечины, причем на среднюю поперечину передается давление:

$$P_1 = \frac{1 + 2K}{3 + 2K} P, \quad (5)$$

остальная же часть давления  $P$  передается поворну двум соседним поперечинам.

При  $1/3 > K > 0,055$  давление распределяется на 5 поперечин; расчетное давление на наиболее нагруженную поперечину:

$$P_1 = \frac{1 + 18K + 7K^2}{5 + 34K + 71K^2} P. \quad (6)$$

При  $K \leq 0,055$  давление передается на 7 поперечин и расчетное давление:

$$P_1 = \frac{1 + 72K + 131K^2 + 26K^3}{7 + 196K + 193K^2 + 26K^3} P. \quad (7)$$

Наибольший изгибающий момент в поперечине от постоянной и временной нагрузок:

$$M_{\max} = \frac{pl_1^2}{8} + \frac{P_1 \left( l_1 - \frac{a}{2} \right)}{4}, \quad (8)$$

где  $a$  — ширина досок нижнего настила, передающих давление  $P$  на поперечину (фиг. 19).

Расчет прогонов. Для определения наибольших усилий в прогонах моста необходимо установить грузовики в невыгоднейшем положении как вдоль, так и поперек моста. Для этого первоначально необходимо произвести невыгоднейшую поперечную установку нагрузки и определить «коэффициент поперечной передачи» для наиболее нагруженного прогона.

Обычно наиболее нагруженным является один из средних прогонов. Давление от одного ряда

автомобильных осей (фиг. 20) на рассматриваемые прогоны (без учета неразрезности поперечин):

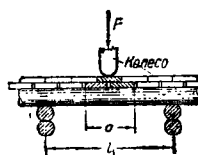
$$A = \frac{P}{2} \left( 1 + \frac{a_1}{l_1} + \frac{a_2}{l_2} \right). \quad (9)$$

Коэффициент поперечной передачи:

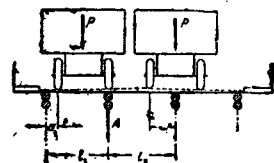
$$k = \frac{A}{P} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{a_1}{l_1} + \frac{a_2}{l_2} \right). \quad (10)$$

Коэффициент передачи одинаков как для передних, так и для задних осей автомобиля.

Определив наиболее опасную поперечную установку, необходимо найти невыгоднейшую продольную установку.



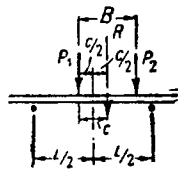
Фиг. 19. К расчету поперечины



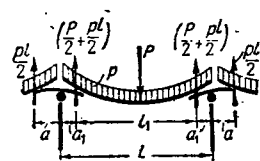
Фиг. 20. Определение коэффициента поперечной передачи

Для небольших балочных мостов наиболее опасным оказывается обычно расположение самой тяжелой оси над серединой пролета прогона.

В случае же, если расстояние  $B$  между соседними грузами мало по сравнению с пролетом  $L$  (для двух равных грузов при  $B < 0,6L$ ), может оказаться более опасной загрузка прогона двумя грузами (по Винклеру) так, чтобы середина пролета прогона совпала с серединой расстояния



Фиг. 21. Загрузка прогона по Винклеру



Фиг. 22. Расчетная схема прогона на подбалках

между равнодействующей обеих грузов —  $R$  и ближайшим к ней грузом —  $P$  (фиг. 21). Максимальный момент возникает тогда под грузом  $P_1$  и равенся:

$$M_{\max} = \frac{R \left( \frac{L}{2} - \frac{C}{2} \right)^2}{L}, \quad (11)$$

где

$$R = P_1 + P_2;$$

$$C = \frac{P_2 B}{P_1 + P_2}.$$

Расчет прогонов на подбалках. Полагая, что нагруженный временной нагрузкой прогон имеет опорные точки в пределах длины подбалки, соседние же ненагруженные пролеты опираются на концы подбалок, из условия равновесия подбалок (фиг. 22) получим:

$$\frac{pl}{2} a = \left( \frac{pl}{2} + \frac{P}{2} \right) a_1,$$

откуда:

$$a_1 = \frac{pl}{pl + P} a, \quad (12)$$

где  $p$  — погонная постоянная нагрузка прогона;  
 $P$  — расчетный сосредоточенный груз;  
 $a$  — половина длины подбалки;  
 $a_1$  — расстояние от оси свай до точки опоры нагруженного пролета прогона.

Расчетный пролет прогона:

$$l_1 = l - 2a_1.$$

Наибольший изгибающий момент в прогоне: от постоянной и временной нагрузок:

$$M_{np} = \frac{Pl_1}{4} + \frac{pl}{8} (2l_1 - l). \quad (13)$$

Наибольший изгибающий момент в подбалке:

$$M_{подб} = \frac{pla}{2}. \quad (14)$$

Расчет свайных опор на ветер. Расчет моста на действие ветровой нагрузки заключается в проверке устойчивости его на опро-

Коэффициент устойчивости:

$$k = \frac{M_{уд}}{M_{опр}}. \quad (17)$$

Необходимо, чтобы коэффициент устойчивости  $k \geq 1,4$ .

Укосины свайных опор рассчитываются в предположении, что на них полностью передается горизонтальная ветровая нагрузка с одного пролета моста.

Усилие  $S$  в укосине получаем из условия равенства моментов относительно точки  $a$  (Фиг. 24), т. е.

$$W_1H_1 + W_2H_2 + W_3H_3 = Sz, \quad (18)$$

где

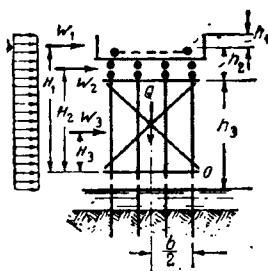
$$z = \frac{h_s}{\sqrt{a^2 + h_s^2}}.$$

Усилие в укосине:

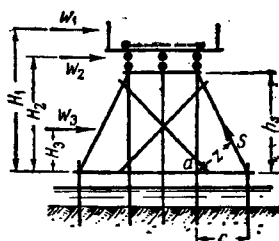
$$S = \frac{\Sigma WH}{z}. \quad (19)$$

#### 4. Мосты подкосных систем

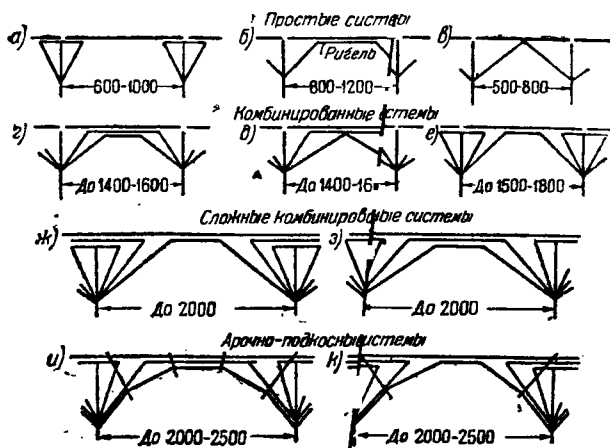
Мосты подкосной системы применяются для перекрытия пролетов более 6—8 м. В зависимости от величины пролетов подкосные мосты могут



Фиг. 23. Расчет моста на опрокидывание



Фиг. 24. Расчет укосины



Фиг. 25. Основные системы автодорожных подкосных мостов

кидывание и в расчете элементов, обеспечивающих его горизонтальную жесткость.

Благодаря большой ширине автодорожных мостов проверка их на опрокидывание обычно не нужна и должна производиться лишь для узких или очень высоких мостов. Опрокидывающий момент (фиг. 23):

$$M_{опр} = W_1H_1 + W_2H_2 + W_3H_3. \quad (15)$$

где  $W_1, W_2$  и  $W_3$  — ветровые давления на перила, прогону с проезжей частью и свайные опоры;

$H_1, H_2$  и  $H_3$  — соответственно плечи этих давлений.

Обозначая через  $Q$  вес одного пролета моста, олучим удерживающий момент (сопротивление свай выдергиванию не учитывается):

$$M_{уд} = Q \frac{b}{2}. \quad (16)$$

иметь более или менее сложную схему с одной или несколькими парами подкосов в каждом пролете. В настоящее время автодорожные мосты подкосной системы применяются для перекрытия пролетов до 20 м более.

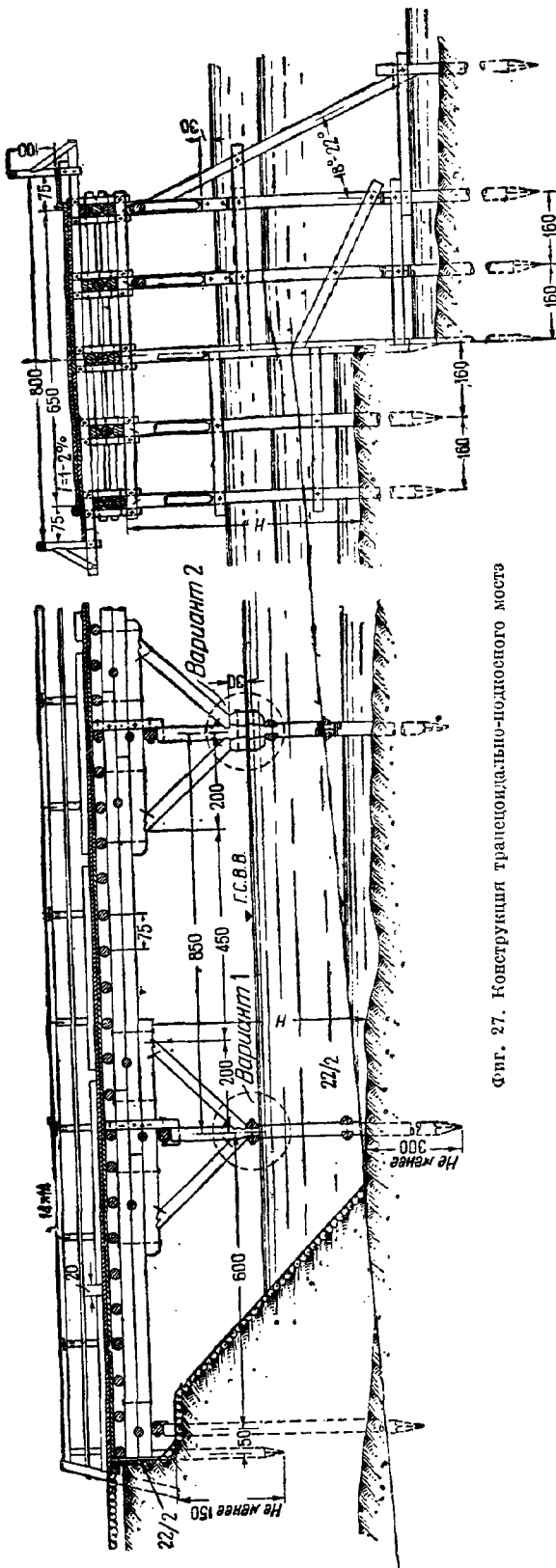
Различают кроме простейшей подкосной системы по фиг. 25, а следующие подкосные системы (фиг. 25, б, в, г, д, е, ж, з):

- 1) трапециoidalно-подкосная (фиг. 25, а);
- 2) ригельно-дросная (фиг. 25, б);
- 3) комбинированные подкосные (фиг. 25, в, г, е, ж, з);
- 4) арочно-подкосные (фиг. 25, и, к).

#### 1) Мосты трапециoidalно-подкосной системы

##### Конструкция

Мосты трапециoidalно-подкосной системы являются простейшим типом подкосных мостов под



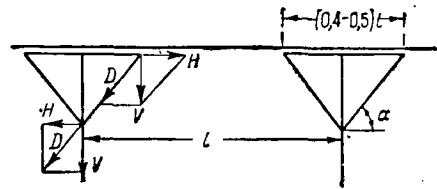
Фиг. 27. Конструкция трапецидально-подкосного моста

автотдорожную нагрузку для пролетов от 6 до 10 м.

Прогоны поддерживаются подкосами, упирающимися своими нижними концами в сваи, верхними же — в подбалки (фиг. 26).

Длина подбалок принимается равной  $(0,4 - 0,5) l$ , угол наклона подкосов к горизонту — близким к  $45^\circ$ . Под действием вертикальной нагрузки прогоны работают на изгиб и передают свое давление через подкосы и сваи; при этом давление, приложенное в вершине подкоса, вызывает в подбалке растягивающее усилие  $H$ , в подкосе же — сжимающее  $D$ . В нижнем конце подкоса передаваемое им усилие  $D$  разлагается на вертикальную реакцию  $V$  и горизонтальную —  $H$ , называемую распором. Распор вызывает горизонтальный изгиб свайных опор.

При тяжелой нагрузке или большой высоте опор может оказаться необходимой постановка специальной ватяжки, воспринимающей на себя действие распора.



Фиг. 26. Схема трапецидально-подкосного моста

Мост трапецидально-подкосной системы с пролетами по 8,5 м под автогрузевую нагрузку Н8 при габарите Г2 приведен на фиг. 27. Мост имеет двухъярусные прогоны, поперечная устойчивость которых обеспечивается анкерами и сжимаемыми брусками. Проезжая часть состоит из двойного дощатого настила, уложенного по поперечинам.

Примыкание подкосов к подбалкам и сваям осуществлено помощью врубки зубьями (фиг. 27, вариант 1). При более тяжелой нагрузке сопряжение подкосов со сваями лучше делать помощью деревянных зубчатых коротышей, притянутых к свае болтами (фиг. 27, вариант 2). Сваи опор должны быть забиты в грунт на глубину не менее 3—4 м. В случае большой высоты опор сваи приходится наращивать. Стык делают на высоте около 0,5 м от горизонта межених вод и укрепляют его металлическими хомутами и горизонтальными поперечными схватками.

### б) Расчет

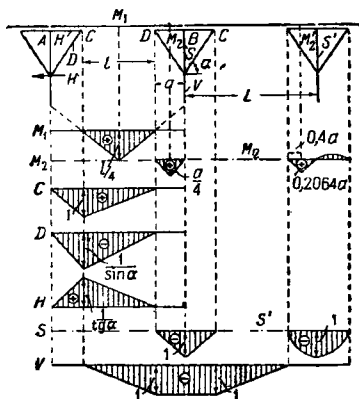
Прогоны мостов трапецидально-подкосной системы принято рассчитывать как двухконсольную балку, свободно лежащую на опорах  $C$  и  $D$  (фиг. 28), причем длина консолей определяется расстоянием  $a$  стыков от опор  $C$  и  $D$ . Прогон будет работать как двухконсольная балка лишь до тех пор, пока нагрузка находится на участке  $CD$ ; при переходе же грузов на участок  $AC$  или  $DB$  консоли  $a$  прижмутся к подбалкам.

На фиг. 28 приведены линии влияния усилий в элементах трапецидально-подкосного моста.

Изгибающий момент  $M_1$  в середине пролета прогона определяется как для простой двухконсольной балки.

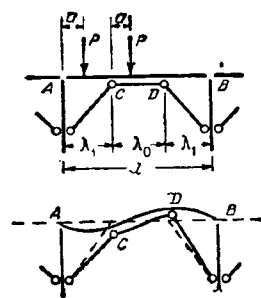


Изгибающий момент  $M_2$  в подбалке определяется, как для простой балки пролетом  $a$  или как для двухпролетной неразрезной балки (см. справа линию влияния  $M_2$ ).



Фиг. 28. К расчету трапециевидно-подкосных мостов

Кроме изгибающего момента от непосредственно приложенной вертикальной нагрузки на подбалку действуют продольное усилие  $H$  и дополнительный момент от эксцентричного приложения этого усилия в месте примыкания подкоса.



Фиг. 29. Расчетная схема ригельно-подкосного моста

Линия влияния распора имеет тот же вид, что и линия влияния усилия  $H$  в подбалке.

2) Мосты ригельно-подкосной системы

а) Конструкция

Ригельно-подкосная система применяется для автодорожных мостов пролетом от 8 до 12 м и даже до 15 м. Для мостов под тяжелую нагрузку (например под железную дорогу) ригельно-подкосная система вследствие недостаточной жесткости вообще не применяется.

В средней части прогоны поддерживаются дополнительным горизонтальным элементом — ригелем, подпертым с обоих концов подкосами (фиг. 29). При действии на ригельно-подкосную ферму вертикальной нагрузки прогоны работают на изгиб, опираясь на «железашую» конструкцию в точках  $A, B, C$  и  $D$ . Для устойчивости и жесткости ригельно-подкосных мостов необходимо делать прогоны неразрезными, сты-

куя их только над свайными опорами; в пределах ригеля стыков делать не рекомендуется<sup>1</sup>.

Длина средней панели, равная длине ригеля  $\lambda_0$ , обычно принимается равной:

$$\lambda_0 = \left( \frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2} \right) l$$

Высоту ферм  $h$  выбирают так, чтобы пята подкосов были выше горизонта самых высоких вод не менее чем на 0,3 м и чтобы угол  $\alpha$  наклона подкосов к горизонту был во всяком случае не менее 30°. Так как наклон раскосов зависит также и от относительной длины ригеля, то при разбивке панелей  $\lambda_0$  и  $\lambda_1$  следует учитывать получающийся наклон подкосов.

Желательно иметь угол  $\alpha \approx 45^\circ$ , высоту же  $h = (0,25-0,35)l$ .

Соприжение подкосов с ригелем может конструироваться различно. Обычно подкосы непосредственно упираются в торцы ригеля, причём опорная площадка располагается по биссектрисе угла или ортогонально к подкосу. Против бокового сдвига сопряжение укрепляется скобами, металлическими накладками, деревянными схватками и другими креплениями (фиг. 30).

Соприжение нижних концов со сваями устраивается так же, как и в мостах трапециевидно-подкосной системы.

Ригельно-подкосные мосты передают распор свайным опорам, вызывая работу их на горизонтальный изгиб. Поэтому в мостах большой высоты приходится ставить двухрядные опоры на колодках или с решетчатым заполнением.

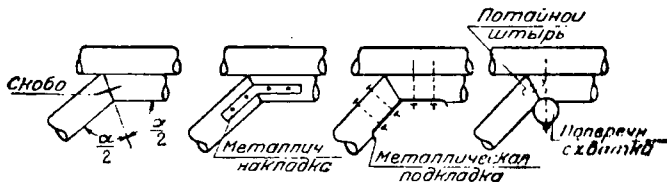
б) Расчет

Расчет ригельно-подкосных мостов проводится в следующих предположениях: прогон предполагается разрезанным на опорах  $A$  и  $B$  и неразрезным на участке  $ACDB$ ; подкосы — шарнирно примыкающими в точках  $C$  и  $D$  (фиг. 29).

Прогон, подпертый в точках  $A, C, D$  и  $B$ , можно тогда рассматривать как трехпролетную неразрезную балку с упругими опорами  $C$  и  $D$ . Давления в узлах  $C$  и  $D$  при любых положениях нагрузки между собой равны. Действительно, если бы давление в узел  $C$  было больше, чем в  $D$ , то благодаря наличию ригеля узел  $C$  стал бы опускаться, а узел  $D$  подниматься (фиг. 29); деформация продолжалась бы до тех пор, пока давления в узлах  $C$  и  $D$  не сравнялись.

Величины давлений в узлах  $C$  и  $D$  при движении по мосту груза определяются по формулам при положении груза  $P$  в крайней панели на расстоянии  $a$  от узла  $A$ :

$$C = D = \frac{1}{2} \left[ k + \frac{h(1-h^2)}{2+3m} \right], \quad (20)$$



Фиг. 30. Способы сопряжения подкоса с ригелем

<sup>1</sup> Над серединой ригеля стык прогонов теоретически допустим, но на практике не применяется.

где

$$m = \frac{\lambda_0}{\lambda_1}$$

и

$$k = \frac{\alpha_1}{\lambda_0}$$

При положении груза  $P$  в средней панели на расстоянии  $a_1$  от узла  $C$ :

$$C = D = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{3k_1 m (1 - k_1)}{2 + 3m} \right] P, \quad (21)$$

где

$$k_1 = \frac{\alpha_1}{\lambda_0}$$

По ф-лам (20) и (21) могут быть вычислены ординаты линий влияния давлений  $C$  и  $D$ . Для наиболее употребительных соотношений между длинами панелей  $\frac{\lambda_0}{\lambda_1} = m$  эти ординаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Ординаты линий влияния давления в узлах  $C$  и  $D$

| $k = \frac{\alpha}{\lambda_1}$<br>и<br>$k_1 = \frac{\alpha_1}{\lambda_0}$ | При $m = 1$             | При $m = \frac{4}{3}$ | При $m = 2$ |
|---|-------------------------|-----------------------|-------------|
|   | Груз $P = 1$ в панели 1 |                       |             |
| 0   | 0                       | 0                     | 0           |
| 0,1   | 0,0589                  | 0,0583                | 0,0562      |
| 0,2   | 0,1192                  | 0,1160                | 0,1120      |
| 0,3   | 0,1773                  | 0,1728                | 0,1671      |
| 0,4   | 0,2336                  | 0,2280                | 0,2210      |
| 0,5   | 0,2875                  | 0,2812                | 0,2734      |
| 0,6   | 0,3384                  | 0,3320                | 0,3240      |
| 0,7   | 0,3857                  | 0,3797                | 0,3723      |
| 0,8   | 0,4288                  | 0,4240                | 0,4180      |
| 0,9   | 0,4671                  | 0,4642                | 0,4607      |
| 1,0   | 0,5000                  | 0,5000                | 0,5000      |
|   | Груз $P = 1$ в панели 2 |                       |             |
| 0,1   | 0,5270                  | 0,5400                | 0,5675      |
| 0,2   | 0,5480                  | 0,5711                | 0,6200      |
| 0,3   | 0,5630                  | 0,5933                | 0,6575      |
| 0,4   | 0,5720                  | 0,6067                | 0,6800      |
| 0,5   | 0,5750                  | 0,6111                | 0,6875      |

Вид линии влияния давлений  $C = D$  приведен на фиг. 31. Площадь линии влияния давления  $C$  определяется формулой:

$$\omega = \lambda_1 \left[ \frac{m+1}{2} + \frac{1+m^2}{4(2+3m)} \right]. \quad (22)$$

Эта формула дает:

при  $m = 1$ :

$$\omega = 1,1\lambda_1 = 0,3667l;$$

при  $m = \frac{4}{3}$ :

$$\omega = 1,307\lambda_1 = 0,3920l;$$

при  $m = 2$ :

$$\omega = 1,781\lambda_1 = 0,4453l.$$

С помощью линии влияния давления  $C$  могут быть определены усилия во всех элементах моста. Усилие в подкосе:

$$D = \frac{\sigma}{\sin \alpha}. \quad (23)$$

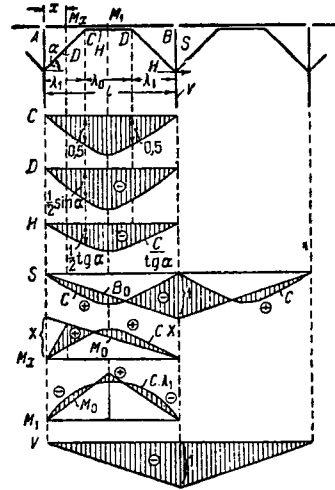
Усилие в ригеле:

$$H = \frac{\sigma}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (24)$$

Усилие в верхней части стойки  $S$  получается суммированием давлений, передаваемых концами примыкающих в точке  $B$  прогонов:

$$B = B_0 - C,$$

где  $B_0$  — давление в точке  $B$  от прогонов, рассматриваемых как простые балки пролетом  $l$ . Соответствующие линии влияния приведены на фиг. 31.



Фиг. 31. Линии влияния усилий для ригельно-подкосного моста

Изгибающий момент в любом сечении прогона (на участке  $\lambda_1$ ):

$$M_x = M_0 - Cx, \quad (25)$$

где  $x$  — расстояние рассматриваемого сечения от левой опоры;

$M_0$  — изгибающий момент в сечении простой балки пролетом  $l$ . Расстояние  $x_1$  от точки  $A$  до сечения прогона, в котором изгибающий момент от временной нагрузки имеет максимум, определяется следующими данными:

при  $m = 1$ :

$$k = \frac{x_1}{\lambda_1} = 0,578;$$

при  $m = \frac{4}{3}$ :

$$k = 0,609;$$

при  $m = 2$

$$k = 0,659,$$

Изгибающий момент  $M_1$  в среднем сечении прогона:

$$M_1 = M_0 - C\lambda_1,$$

где  $M_0$  — изгибающий момент в среднем сечении простой балки пролетом  $l$ .

Линия влияния давления на нижнюю часть стойки (на опору) имеет простое треугольное очертание (фиг. 31). Кроме вертикального давления на опору при загрузке одного пролета может действовать также горизонтальный распор, величина которого равна усилию  $H$  в ригеле.

### 3) Мосты комбинированных подкосных систем

#### а) Конструкция

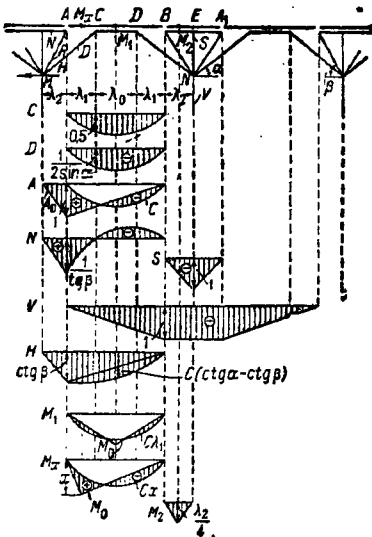
Мосты комбинированных подкосных систем представляют собой сочетание простых подкосных



## б) Расчет

Комбинированные подкосные системы при расчете рассматривают как составленные из ряда проветных подкосных систем и пользуются методами и приемами, описанными выше в расчете трапециoidalно- и ригельно-подкосных систем.

Для примера на фиг. 34 приведены линии влияния усилий в элементах комбинированной подкосной системы. Прогон принимается разрезанным в узлах *A* и *B* и неразрезным на протяжении



Фиг. 34. Линии влияния усилий для комбинированного подкосного моста

*AB*. Давление, передаваемое прогонам в узлах *C* и *D*, определяется как для простой ригельно-подкосной системы. Давление, передаваемое прогонам в узле *A*:

$$A = A_0 - C.$$

Разложением давления *A* получаем усилия в коротком раскосе *R* и в подбалке:

$$R = \frac{A}{\sin \beta}, \quad N = \frac{A}{\operatorname{tg} \beta},$$

где  $\beta$  — угол наклона короткого подкоса к горизонту. Усилие *S* в верхней части опор определяется в предположении разрезности прогона в узлах *BEA*<sub>1</sub>.

Линия влияния усилия *V* в нижней части опоры имеет трапециoidalное очертание.

Горизонтальный распор от действия усилий в подкосах на опору:

$$\begin{aligned} &= D \cos \alpha + R \cos \beta = \\ &= A_0 \operatorname{ctg} \beta + C (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta). \end{aligned} \quad (27)$$

Линия влияния распора *H* получается поэтому (фиг. 34) суммированием треугольной линии с ординатами  $A_0 \operatorname{ctg} \beta$  и параболического сегмента с ординатами  $C (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta)$ . Линии влияния изгибающих моментов  $M_1$  и  $M_2$  в сечениях прогона по середине ригеля и в пределах панели  $\lambda_1$  определяются так же, как в простой ригельно-подкосной системе.

В пределах панели  $\lambda_2$  изгибающий момент  $M_2$  обычно определяется в предположении разрезности прогона.

## 4) Мосты арочно-подкосной системы

## а) Конструкция

Арочно-подкосная система (фиг. 25, *а, б*) применяется для перекрытия пролетов до 20—25 м, когда подкосные системы оказываются уже неприемлемыми. Являясь переходом от подкосной системы к арочной, она представляет собою как бы многоугольную арку, составленную из прямых элементов, комбинированную с трапециoidalно-подкосной системой или ригельно-подкосной системой или с той и другой вместе.

Элементы многоугольной арки образуются из бревен или брусьев длиной обычно не более 3—4 м. В местах стыков элементов арок ставятся наклонные схватки (подвески), обжимающие верхними концами прогоны, нижними же — элементы арки в местах перелома ее очертания. Схватки воспринимают на себя сжимающие усилия и делаются из бревен или пластин, реже — из брусьев. Опоры арочно-подкосных мостов вследствие значительной величины передаваемого на них распора должны быть более мощными, чем подкосных мостов.

На фиг. 35 приведена конструкция арочно-подкосного моста расчетным пролетом  $l = 18$  м под нагрузку *H8* при габарите  $\Gamma_4$ .

В поперечном разрезе мост опирается на шесть рядов свай. Средние сваи сближены, что допускает ремонт и перестройку моста долевыми половинами без перерыва движения.

Проезжая часть состоит из двойного настила, опирающегося на поперечины. Двухъярусные прогоны поддерживаются подбалками и ригелем, в которые упираются подкосы арочной части. В узлах звеньев арки обжимаются наклонными схватками из пластин.

Нижние торцы первых звеньев арки упираются в головы крайних свай трехсвайной по фасаду опоры. Между тремя сваями зажата с врубками парная стойка — «свеча», в которую врублены нижние концы длинного и короткого подкосов. Для восприятия горизонтально приложенного в ниятах подкосов распора опоры сконструированы составного сечения на колодках. В нижней части опоры назначение колодок выполняют нижние концы стойки — свечи, врезанные в сваи зубьями.

В поперечном направлении сваи опор связаны диагональными и горизонтальными схватками и укреплены укосинами, упирающимися в укосные сваи.

## б) Расчет

Мосты арочно-подкосной системы рассчитываются на основе тех же принципов, что и мосты комбинированных подкосных систем.

Прогон (фиг. 36) рассматривается как разрезанный в точках *A* и *B* и неразрезной на протяжении *ACDBE*. Это позволяет рассматривать часть *MACDBN* как простую ригельно-подкосную систему и построить линию влияния давления *C*.

Усилие  $S_2$  в элементе *MC* определяется по давлению *C*:

$$S_2 = \frac{C}{\sin \alpha_2},$$

усилие же  $S_1$  в нижнем элементе арки *KM* — разложением усилия  $S_2$  по направлению элемента *KM* и подвески *EM*:

$$S_1 = S_2 \frac{\sin (\gamma + \alpha_2)}{\sin (\gamma + \alpha_1)} = C \frac{\sin (\gamma + \alpha_2)}{\sin (\gamma + \alpha_1)}, \quad (29)$$



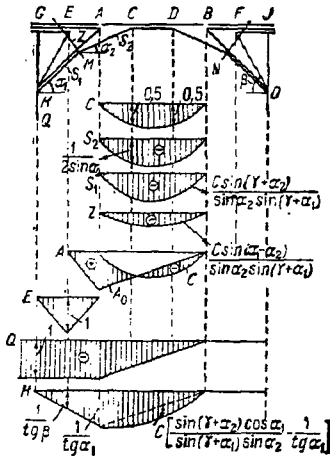
где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — углы наклона к горизонту элементов арки;

$\gamma$  — угол наклона подвесок к горизонту.

Усилия в подвеске:

$$Z = S_2 \frac{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin(\gamma + \alpha_1)} = C \frac{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin \alpha_2 \sin(\gamma + \alpha_1)}. \quad (30)$$

Усилия в остальных элементах определяют аналогично тому, как в подносных системах.



Фиг. 36. Линии влияния усилий для арочно-подносного моста

Горизонтальный распор от действия усилий подкосов на опору:

$$H = D_1 \cos \beta + D_2 \cos \alpha_1 + S_1 \cos \alpha_1 = \frac{E}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{A_0}{\operatorname{tg} \alpha_1} + C \left[ \frac{\sin(\gamma + \alpha_2) \cos \alpha_1}{\sin \alpha_2 \sin(\gamma + \alpha_1)} - \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_1} \right], \quad (31)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  — усилия в подкосах  $KE$  и  $KA$ ;  $\beta$  и  $\alpha_1$  — углы наклона этих подкосов.

На фиг. 36 представлены основные линии влияния для арочно-подносной фермы.

## 5. Арочные мосты

### 1) Общие сведения

Деревянные арочные мосты применяются на автодорогах для перекрытия пролетов от 15 до 25—30 м. В отдельных случаях деревянные арочные мосты находили себе применение для перекрытия и больших пролетов, достигавших 80—400 м. В зависимости от уровня расположения проезда на мосту арочные мосты могут быть с ездой поверху или понизу.

Арочные мосты с ездой поверху более экономичны и конструктивны, а потому применяются значительно чаще, чем с ездой понизу.

Арочные пролетные строения передают опорам значительный горизонтальный распор; поэтому опоры арочных мостов должны иметь достаточно жесткую конструкцию, обеспечивающую прочность и устойчивость сооружения. Наиболее часто опоры арочных мостов делают каменными; однако наряду с каменными применяют также свайные и ряжевые опоры.

Основные схемы арочных пролетных строений приведены на фиг. 37. При небольших пролетах (до 25 м) пролетные строения состояются из арок и надарочного строения, образованного из стоек и прогонов, поддерживающих проезжую часть. Надарочные стойки располагают вертикально или радиально к арке. В современных конструкциях предпочитают вертикальное расположение стоек.

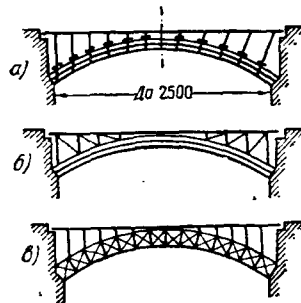
Для увеличения жесткости надарочного строения при подъемистых арках и тяжелой нагрузке между надарочными стойками могут быть поставлены подкосы (фиг. 37, б).

При пролетах более 35—40 м кроме сплошных арок находят также применение сквозные решетчатые арки (фиг. 37, в).

Арочные мосты с ездой понизу не имеют большого применения на дорогах; устраиваются они лишь в тех случаях, когда строительная высота недостаточна для сооружения моста с ездой поверху, а применение арочной системы все же целесообразно или желательно. Арочные пролетные строения с ездой понизу могут быть без затяжки или с затяжкой. В первом случае распор арок передается опорам моста; во втором — воспринимается затяжкой, опорам же передаются лишь вертикальные давления.

Очертание оси деревянных арок обычно принимают по кругу или по параболу. Очертание по кругу удобнее из конструктивных соображений.

Отношение стрелы подъема  $f$  к пролету  $l$  «подъем арок» —  $f/l$  обычно колеблется от  $1/3$  до  $1/10$ . Наиболее употребительны отношения  $f/l$  от  $1/5$  до  $1/8$ .



Фиг. 37. Основные схемы арочных пролетных строений

### 2) Конструкция

Деревянные арки могут иметь брусчатое или дощатое сечение.

Брусчатые арки образуются из соединенных между собою вплотную или с зазором брусков, связанных болтами, хомутами, а также шпонками и колодками. Бруска выпиливаются по лекалу или выгибаются (после предварительного пропаривания).

Дощатые арки образуются из пакетов выгнутых досок, связываемых гвоздями, болтами, нагелями, хомутами и др. Перед употреблением в дело доски пропариваются в течение 1,5—2 час. сырым паром, после чего выгибаются и оставляются в согнутом состоянии на 1,5—2 месяца для просушки.

В настоящее время наиболее употребительны сечения арок из дощатых пакетов на гвоздях, стягиваемые кроме того болтами или хомутами.



### 3) Расчет

Ввиду того что пяты арок вследствие обмятия дерева могут несколько поворачиваться, принято рассматривать их при расчете как шарнирные. Поэтому деревянные арки рассчитывают как двухшарнирные.

Для арок параболического очертания распор может определяться по приближенной формуле:

$$H = \frac{3}{4} \cdot \frac{Pa(1-a)}{l}, \quad (32)$$

где  $a$  — расстояние груза  $P$  от левой опоры.

Пользуясь приведенной формулой, можно построить линию влияния распора, после чего могут быть легко построены линии влияния изгибающего момента  $M = M_0 - Hy$  и продольной силы:

$$N = H \cos \varphi + Q \sin \varphi$$

для любого сечения арки ( $M_0$  и  $Q_0$  — момент и поперечная сила в простой балке пролетом  $l$ ).

При загрузке всего пролета равномерно распределенной нагрузкой  $p$  распор параболической арки:

$$H = \frac{pl^2}{8}. \quad (33)$$

При расчете арки на продольный изгиб за свободную длину принимается: на изгиб из плоскости арки — длина павели связей между арками; на изгиб в плоскости арки — длина  $l_0 = kS$ , где  $S$  — полная длина оси арки,  $k$  — коэффициент, зависящий от центрального угла арки  $\alpha$ , соответствующего полупролету, и определяемый по формуле:

$$k = \frac{0,56\pi}{\sqrt{\pi^2 - \alpha^2}}. \quad (34)$$

## 6. Деревянные трубы

### 1) Общие сведения

Для пропуска небольшого количества воды под насыпью дороги прибегают к устройству трубы.

Необходимым условием для возможности устройства трубы является достаточная высота насыпи, обеспечивающая засыпку над трубой не менее чем на 0,5 м.

При устройстве трубы обеспечиваются непрерывность и однородность полотна дороги; отверстие трубы для пропуска протекающей воды может быть сделано значительно меньшим, чем отверстие моста, благодаря большому допускаемым скоростям протекания воды по лотку трубы; стоимость трубы обычно ниже, нежели моста того же отверстия.

Основным недостатком деревянных труб являются легкая их загниваемость и трудность ремонта.

При постройке труб из непропитанного леса необходимо производить осмолку соединений, врубок и наружных поверхностей пластин обшивки.

В поперечном сечении деревянные трубы могут быть (фиг. 41) треугольные, прямоугольные, трапециевидальные и круглые. В гидравлическом отношении наилучшим является круглое сечение, худшим — треугольное. В отношении же простоты устройства

и конструкции, наоборот, наилучшей является треугольная труба, наиболее же сложной — круглая.

### 2) Конструкция

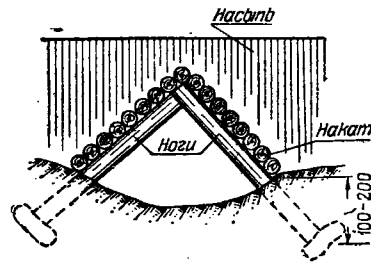
#### а) Треугольные трубы

Треугольные трубы небольших отверстий обычно делают бревенчатыми (фиг. 42). Бревенчатая труба состоит из отдельных наклонных стоек (ног), взаимно врубленных вверху попарно вполдерева. Нижние концы ног врыты в землю и опираются на постелистые камни или обрезки бревен, служащие для распределения давления на грунт.



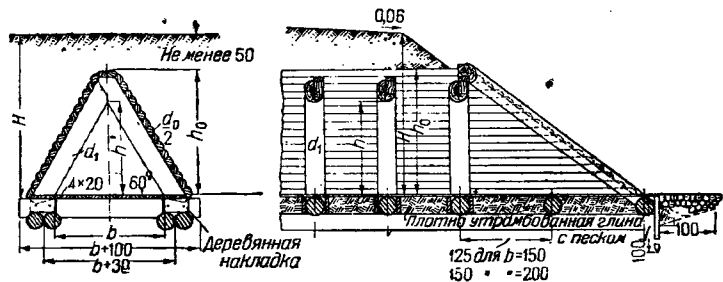
Фиг. 41. Типы сечений деревянных труб

Наклонные ноги ставятся на расстоянии 1—1,5 м друг от друга. Поверх ноги укладываются бревна небольшого диаметра или пластины.



Фиг. 42. Простейшая треугольная труба

Более совершенный тип треугольной трубы приведен на фиг. 43. Труба состоит из попарно врубленных друг в друга наклонных ног, упертых нижними концами в горизонтальные поперечные лежни. Каждая пара ног и лежень образуют жесткие треугольные рамы. Эти рамы опираются на продольные лежни, идущие на всю длину



Фиг. 43. Конструкция треугольной трубы

трубы и служащие для связи рам между собой в продольном направлении и лучшего распределения давления на грунт. Поверх поперечных лежней пришиваются доски, образующие лоток для протекания воды. Лотку трубы придается уклон, соответствующий принятому при расчете отверстия. Ноги трубы сверху обшиваются прибитыми друг к другу пластинами.



Концы пластин обрезаются наклонно по откосу насыпи, и к торцам их для предохранения от сырости пришивается по пластине.

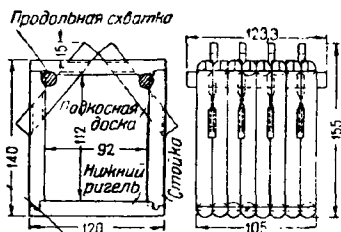
При устройстве трубы растительный, а также слабый грунт удаляется (пучинистый грунт выбирается до глубины промерзания) и взамен него укладывается слой мятой глины с песком, служащий основанием трубы.

У входного отверстия трубы забивается шпунт, предохраняющий трубу от размыва.

**б) Прямоугольные и трапециодальные трубы**

Эти трубы имеют конструкцию, аналогичную треугольным трубам.

На фиг. 44 представлена конструкция прямоугольной трубы (тип ЦИС НКПС), в которой мо-



Фиг. 44. Конструкция прямоугольной трубы типа ЦИС НКПС

гут сменяться без перерыва движения как отдельные элементы, так и вся труба в целом. Труба состоит из отдельных прямоугольных бревенчатых рам, поставленных плотную друг к другу. Для обеспечения поперечной жесткости трубы в верхних углах рамы поставлены доски, врубленные в верхний брус, и стойки. Смена отдельных подгнивших элементов, также как и целой трубы, может производиться путем вынимания поврежденных рам.

**в) Круглые трубы**

Применяемые для пропуски воды под насыпью круглые трубы могут быть двух типов: бондарные и косяковые. Бондарные трубы, хорошо сопротивляясь действию давления изнутри трубы, плохо сопротивляются внешнему давлению; поэтому круглые трубы под насыпями целесообразнее делать жесткого типа.

**7. Мосты с решетчатыми фермами**

**1) Общие сведения**

Для перекрытия пролетов более 20 м обычно приходится проектировать мосты с решетчатыми фермами.

Необходимость больших пролетов может определяться требованиями судоходных габаритов, свободного пропуска ледохода, а также экономическими соображениями.

Регулированные судоходные реки в пределах городов обычно приходится перекрывать пролетными строениями больших пролетов (фиг. 5 и 45, а).

Во внегородских пересечениях рек большими пролетами обычно перекрывается лишь наиболее глубокая часть русла; остальная же часть его — малыми пролетами, стоимость которых меньше (фиг. 45, б).

Мосты с решетчатыми фермами могут проектироваться с ездой поверху или понизу.

Пролетные строения с ездой поверху проще по конструкции и дешевле, а потому должны применяться во всех случаях, когда имеется достаточная строительная высота.

Среди многочисленных систем мостов с решетчатыми фермами наиболее широкое распространение получили подвесные мосты, мосты системы Гау, системы Тауна и некоторые другие, хорошо проверенные практикой строительства и эксплуатации.

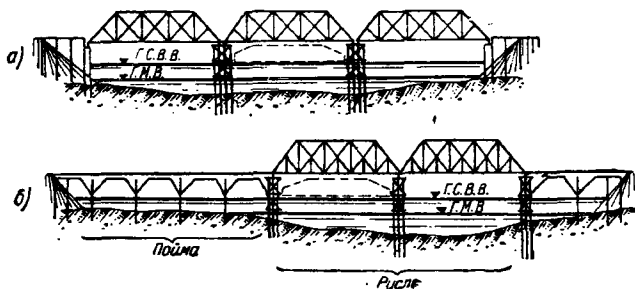
**2) Подвесные мосты**

Простейшей системой мостов с решетчатыми фермами являются подвесные мосты, которыми обычно перекрывают пролеты 10—16 м, а при легкой нагрузке — до 20—25 м.

Основные типы подвесных ферм, применяемых для автодорожных мостов, приведены на фиг. 46.

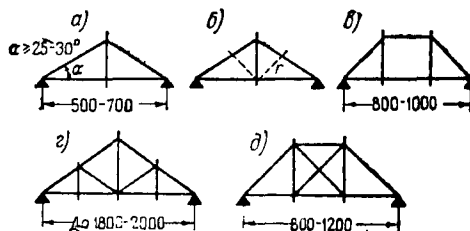
Среди подвесных мостов различают системы: треугольную, треугольно-подвесную и трапециодально-подвесную.

Треугольная система (фиг. 46, а, б) применяется для перекрытия пролетов 5—7 м; треугольно-подвесная система с дополнительными шпренгелями (фиг. 46, в) — пролетов 18—20 м; трапециодально-подвесные систе-



Фиг. 45. Схемы мостов больших пролетов

мы (фиг. 46, в, д) — при легких нагрузках для пролетов 8—12 м



Фиг. 46. Схемы подвесных ферм

При тяжелых (например железнодорожных) нагрузках) подвесные мосты вследствие сложности конструкции вовсе не применяются.

Конструкция легкого мостина треугольно-подвесной системы приведена на фиг. 47. Вследствие небольшой высоты фермы этого мостика используются и в качестве перил.

Конструкция моста подвесной системы пролетом 16 м под нагрузку Н6 при габарите Г4 приведена на фиг. 48.

Пролетное строение состоит из двух ферм треугольной системы и проезжей части, опирающейся своими поперечными балками в узлах главных ферм. Верхний пояс ферм образован из двух наклонных элементов, сходящихся торцами в верхнем узле. Средняя стойка-подвеска из одного бревна, закрепленная в верхнем узле помощью зубчатых подушек, нижним своим концом поддерживает середину нижнего пояса сечением из двух бревен.

Кроме того устроены дополнительные шпренгели из подураскосов и подвесок, поддерживающих пояс еще в двух точках, деля его таким образом на четыре панели.

Проезжая часть моста состоит из двойного дощатого настила, уложенного по продольным балкам, опирающимся на поперечные балки сечением из четырех бревен на шпонках.

Поперечные балки опираются в узлах главных ферм, обхватывая двумя своими ветвями подвески главных ферм.

Поперечная жесткость пролетного строения обеспечивается горизонтальными связями в уровне нижнего пояса и поперечными схватками с порталными подкосами у верхнего узла ферм.

При постройке подвесных ферм им во избежание провеса от обмятия врубок и сопряжений при эксплуатации моста следует придавать строительный подъем в  $\frac{1}{150}$  —  $\frac{1}{120}$  пролета.

### 3) Мосты системы Гау

#### а) Общие сведения

Мосты системы Гау являются наиболее употребительным типом мостов для перекрытия пролетов от 20 до 50 м, а в отдельных случаях — и до 70 м. Широкое применение мостов системы Гау объясняется простотой их конструкции, жесткостью ферм и удобствами изготовления и сборки.

Фермы системы Гау имеют раскосную схему (фиг. 49). Пояса делаются из круглого или пиленого леса; раскосы — бревенчатого или брусчатого сечения и стойки — из круглого железа.

Тяжи пропускаются через пояса и натягиваются помощью гаек, раскосы же сопрягаются с поясами помощью деревянных подушек, упираясь в них торцами.

Благодаря такой конструкции сопряжения раскосы могут передавать только сжимающие усилия, а потому в панелях, где знак поперечной силы может меняться, необходимы обратные раскосы, включающиеся в работу на сжатие при таких положениях временной нагрузки, которые в основных раскосах вызвали бы растяжение.

В опорных панелях, где поперечная сила отрицательна, постановка обратных раскосов обязательна.

Стойки ферм всегда работают на растяжение. Для обеспечения плотного прижатия всех раскосов к узловым подушкам тяжи ферм натягиваются при сборке моста, а также периодически во время эксплуатации. Натяжение производится подтягиванием гаек на концах тяжей или помощью специальных стяжных муфт (фиг. 50).

Основные схемы ферм системы Гау приведены на фиг. 51.

Высота ферм  $h$  назначается от  $\frac{1}{5}$  до  $\frac{1}{3}$  пролета. Длина панелей  $d$  определяется высотой ферм и углом наклона раскосов, а также конструкцией проезжей части. В случае укладки поперечных балок на пояс в пределах панели пояс работает на местный изгиб, и длина панели принимается в 2—2,5 м; при узловой передаче давлений от проезжей части длина панелей может быть доведена до 3—4 м и даже до 5 м.

Угол наклона раскосов желательнее делать близким к  $45^\circ$ .

Поперечная жесткость пролетных строений обеспечивается связями между фермами.

В мостах малых пролетов с ездой поверху достаточно постановки одних верхних связей. При пролетах более 20 м необходимо устройство как верхних, так и нижних связей, а также поперечных вертикальных связей над опорами и на протяжении пролета через 5—8 м.

Схемы продольных связей мостов с двумя главными фермами приведены на фиг. 52; при трех или более главных фермах связи конструируются по схемам, приведенным на фиг. 53.

В мостах с ездой понизу устройство поперечных связей невозможно; они заменяются поперечными ветровыми рамами, располагаемыми обычно в плоскости опорных раскосов (фиг. 54). Подкосы, обеспечивающие жесткость верхних узлов ветровых рам, придают последним вид порталов; поэтому опорные ветровые рамы называют также «портальными».

#### б) Конструкция пролетных строений

Езда поверху. На фиг. 55 приведен пример конструкции пролетного строения моста системы Гау с ездой поверху под нагрузку Н8 при габарите Г2.

Пролетное строение состоит из трех ферм  $l = 21,2$  м, отстоящих на 3 м одна от другой. Высота ферм  $h = 3,2$  м; длина панелей — 2,12 м.

Проезжая часть моста состоит из двойного дощатого настила, продольных и поперечных балок. Настилу придан поперечный уклон  $i = 2\%$  путем подтески постелей у бревен поперечных балок.

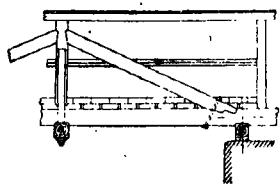
Поперечные балки опираются центрально в узлах главных ферм и запроецированы в виде пакетов из бревен  $d = 24$  см, связанных между собой анкерами и болтами. Верхний ярус бревен составлен из двух частей, имеющих в середине стык. Давления поперечных балок передаются на верхние пояса ферм помощью специальных дубовых подушек.

Главные фермы выполнены целиком из круглого леса.

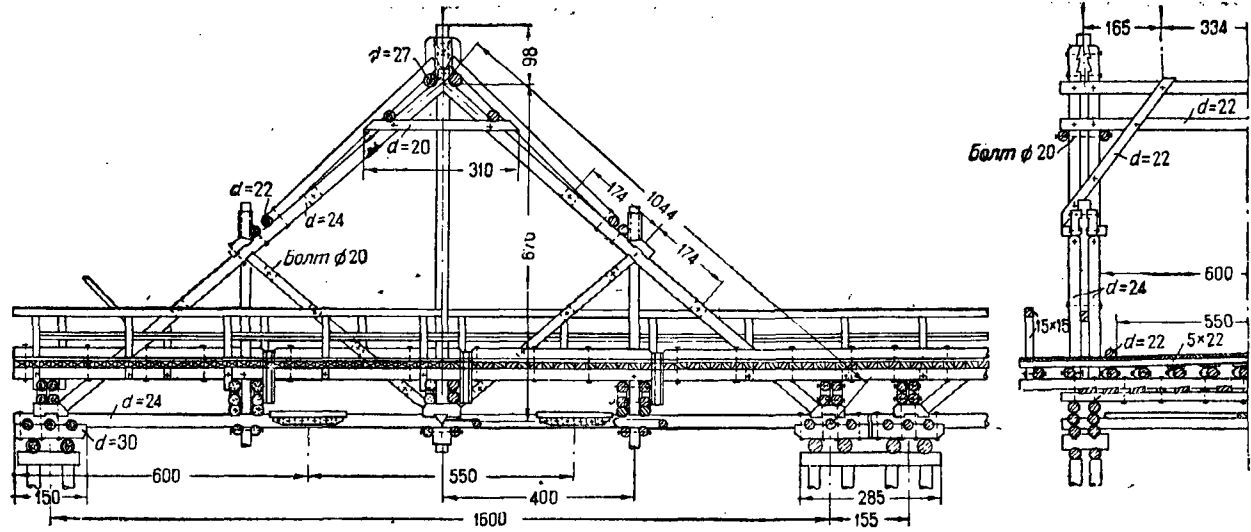
Пояса ферм состоят каждый из двух бревен  $d = 26$  см с зазорами по 4 см для пропуска металлических тяжей. Стыки бревен поясов расположены вразбежку и перекрыты металлическими шпонными накладками (фиг. 56).

Основные раскосы главных ферм составлены из двух бревен, связанных болтами и деревянными прокладками; обратные раскосы — из одного бревна.

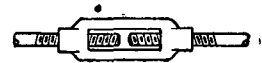
Концы раскосов упираются в дубовые узловые подушки и центрированы дубовыми вкладышами. Металлические тяжи передают свое усилие поясам помощью металлических шайб швеллерного сечения и деревянных подгаечных брусьев, служащих одновременно и поперечными схватками горизонтальных ветровых связей.



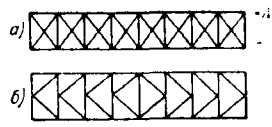
Фиг. 47. Конструкция легкого подвесного мостика



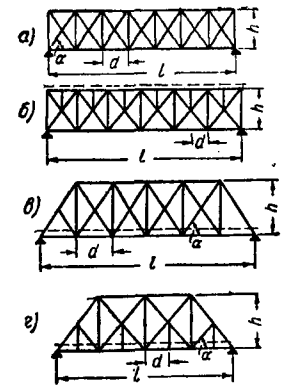
Фиг. 48. Конструкция подвесного моста



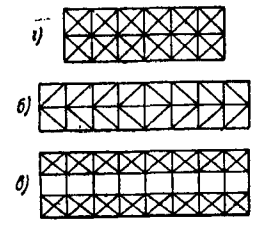
Фиг. 50. Стяжная муфта



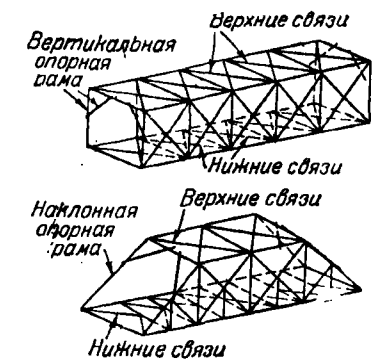
Фиг. 52. Схемы продольных связей в мостах с ездой поверху с двумя главными фермами



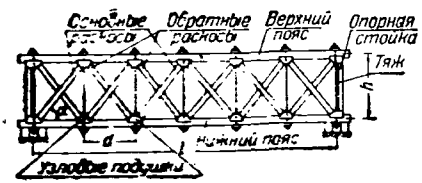
Фиг. 51. Основные схемы ферм Гау



Фиг. 53. Схемы продольных связей в мостах с ездой поверху с четырьмя главными фермами

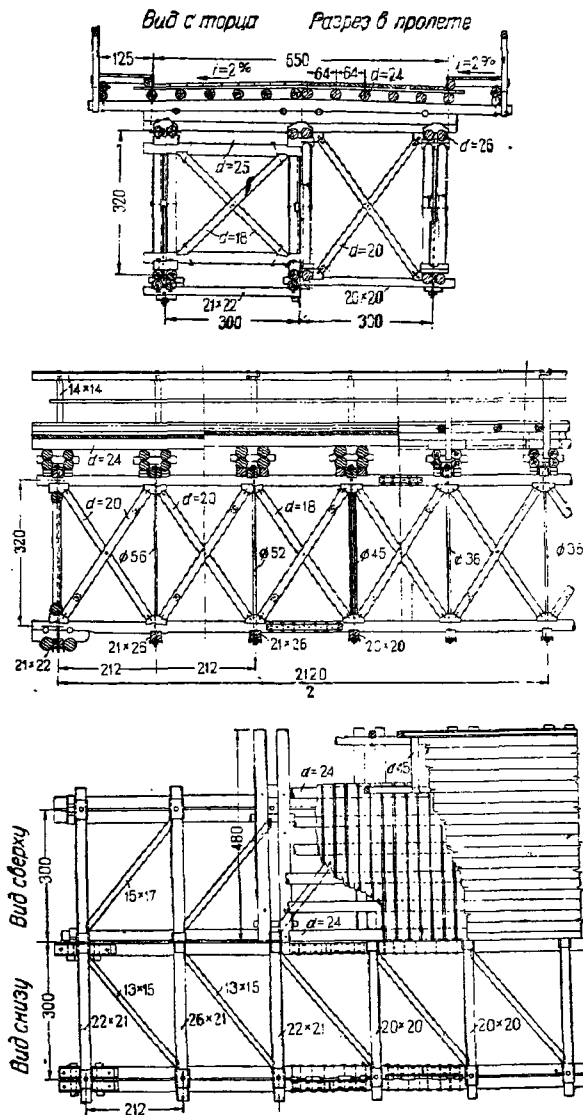


Фиг. 54. Связи в пролетном строении с ездой понизу



Фиг. 49. Ферма системы Гау

Продольные связи полураскосной системы расположены в уровне верхнего и нижнего пояса. Диагонали их выполнены из брусьев, врубленных концами в поперечные схватки. Вертикальные поперечные связи расположены над опорами и на расстоянии 6,35 м от опор.



Фиг. 55. Конструкция пролетного строения Гау с ездой поверху

При сборке пролетным строениям системы Гау придается строительный подъем, равный  $1/300$  пролета.

Езда по низу. На фиг. 57 приведен пример конструкции пролетного строения системы Гау с ездой понизу пролетом  $l = 31,5$  м и под нагрузку Н6 при габарите Г5.

Проезжая часть моста состоит из двойного дощатого настила, поддерживаемого спаренными продольными прогонами, отстоящими на расстоянии 0,9 м один от другого.

Продольные прогоны опираются на поперечные балки, составленные каждая из четырех

круглых бревен, связанных между собою шпонками и стянутых болтами.

Поперечные балки своими концами опираются центрально на узлы главных ферм через специальные деревянные подкладки.

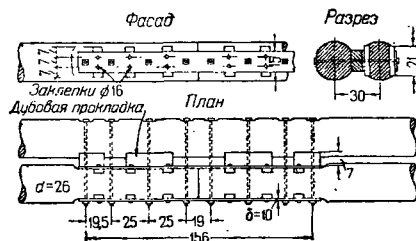
Тротуары расположены снаружи ферм.

Главные фермы выполнены целиком из круглого леса. Пояса главных ферм имеют сечение из двух бревен с зазором между ними для пропуска металлических тяжей. Восходящие раскосы составлены из двух бревен каждый, обратные раскосы — из одного бревна.

Опорный раскос, служащий одновременно и ногой портальной ветровой рамы, выполнен из двух бревен, связанных между собою шпонками и болтами. Полураскос в первой панели служит для уменьшения свободной длины опорного раскоса и составлен из двух бревен и расположен между ними тяжа.

Тяжи главных ферм проходят между обеими ветвями поперечных балок в зазоры между бревнами поясов. Под шайбы гаек тяжей положены дубовые распределительные бруски.

Стыки поясов перекрыты металлическими шпоночными накладками. В верхнем поясе стык делается одновременно в обоих бревнах сечения, в нижнем же поясе — вразбежку.



Фиг. 56. Деталь стыка пояса с металлическими шпоночными накладками

Продольные связи состоят из горизонтальных поперечных схваток, уложенных поверх верхнего и нижнего поясов, и полураскосов, лежащих на этих схватках, связанных в них и притянутых болтами. Узлы горизонтальных ветровых ферм не совпадают с узлами главных ферм.

В плоскостях опорных раскосов установлены поперечные ветровые рамы. Распорки рам составлены из четырех бревен, связанных попарно болтами. Подкосы портальной рамы заведены между обеими ветвями распорок и связаны с ними болтами. Нижние концы подкосов врезаны в опорные раскосы и стянуты с ними болтами.

Для перекрытия больших пролетов целесообразно применение ферм Гау с полигональным верхним поясом.

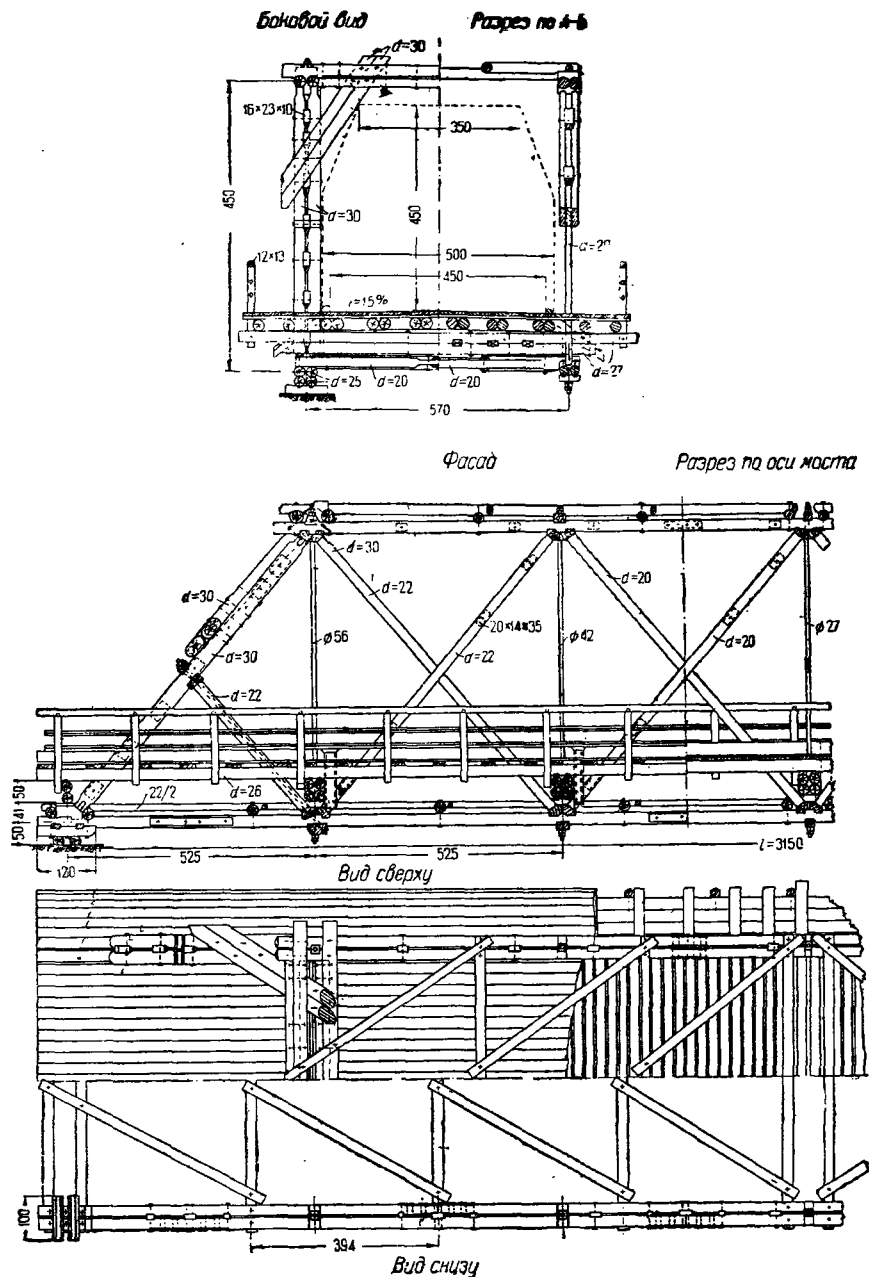
Полигональное очертание пояса способствует более равномерному распределению усилий в элементах пояса, уменьшает усилия в элементах решетки и тем самым облегчает конструкцию узловых сопряжений. В качестве примера на фиг. 58 приведена конструкция такого пролетного строения пролетом  $l = 52,5$  м. Пояса главных ферм имеют сечения из трех бревен. Основные раскосы составлены из двух бревен, обратные раскосы — однобрусного сечения. Стыки нижнего пояса располагаются в панелях; одновременно стыкаются и перекрываются металлическими шпоночными накладками все ветви пояса.

Стыки верхних поясов устроены в углах. Бревна опираются друг в друга впритык и передают давление непосредственно торцами.

Для укрепления стыков в промежутках между бревнами пояса положены деревянные прокладки. Соединения укрепляются также горизонталь-

на колодках, уложенные centrally в углах главных ферм непосредственно на дубовые уловые подушки.

По сравнению с обычными пролетными строениями с полигональным верхним поясом дают экономию в затратах лесоматериала и металла.



Фиг. 57. Конструкция пролетного строения Гау с ездой понизу

ными поперечными схватками, уложенными поверх пояса, и отчасти деревянными подгаечными брусками.

Проезжая часть моста опирается на поперечные балки трехъярусного составного сечения

в) Расчет ферм системы Гау

При расчете ферм системы Гау предполагают сопряжения в узлах шарнирными. Кроме того обычно пренебрегают влиянием начального на-



так и ветровых связей. Поэтому при подборе сечений поясов необходимо производить проверку как на действие основных вертикальных нагрузок, так и на совместное действие вертикальных и го-

никает местный изгиб. Изгибающие моменты в поясах от местного изгиба принимают равными 60% от момента, подсчитанного в поясе, как для простой балки с пролетом, равным длине панели.

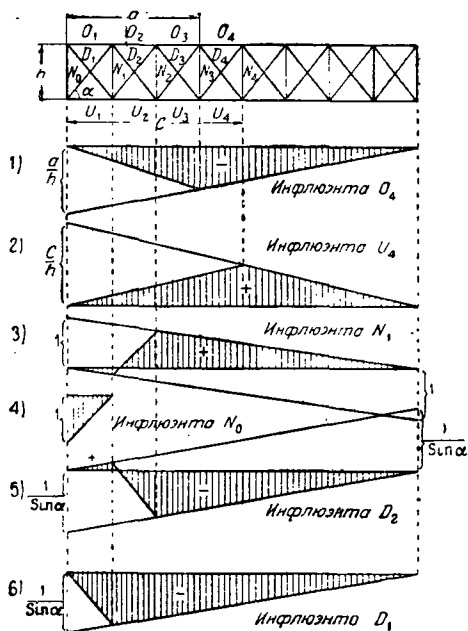
Раскосы рассчитываются на сжатие с продольным изгибом. Свободная длина их при проверке на выпучивание в плоскости фермы принимается равной расстоянию между точками пересечения раскосов; из плоскости же фермы — полной длине раскоса, умноженной на коэффициент  $\mu$ , учитывающий противодействие обратного раскоса:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{I_1}{I_0}}} \quad (\text{но не менее } 0,5), \quad (38)$$

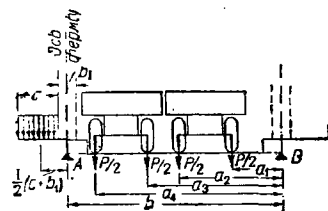
где  $I_0$  — момент инерции расчетного (сжатого) раскоса;

$I_1$  — момент инерции встречного раскоса.

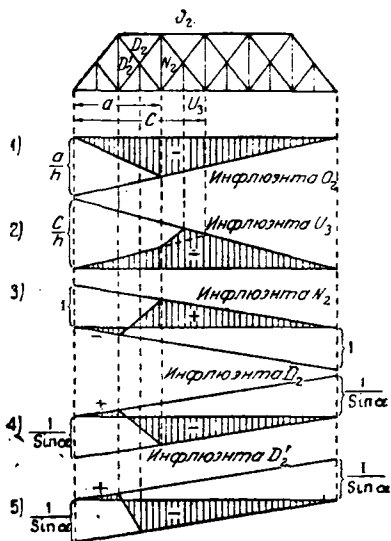
Расчет пролетных строений на ветровую нагрузку. Предполагается, что давление ветра действует на боковую поверхность главных ферм, проезжей части и перил; давление ветра на поверхность подвижной нагрузки не учитывается.



Фиг. 59. Линии влияния усилий в элементах фермы Гау с ездой поверху



Фиг. 61. Поперечная загрузка моста с ездой внизу



Фиг. 60. Линии влияния усилий в элементах фермы Гау с ездой внизу

ризонтальных (ветровых) нагрузок. В последнем случае допускаемые напряжения повышаются на 15%.

В случае, если давление от проезжей части передается на поясе вне узлов, то в поясах воз-

Расчетная площадь  $\omega$ , подверженная действию ветра для ферм со сквозной решеткой, определяется по формуле:

$$\omega = k\omega_0, \quad (39)$$

где  $\omega_0$  — площадь фермы, ограниченная очертанием ее внешнего контура;

$k$  — коэффициент сплошной фермы, принимаемый для ферм с густой дощатой решеткой (Тауна, Лембке и др.) равным 1,0; для ферм с раскосной или крестовой решеткой (Гау и др.) — равным 0,6.

Площадь проезжей части, подверженная действию ветра, принимается в виде сплошной полосы, выступающей над соответствующим поясом.

Ветровое давление на перила следует учитывать только в мостах с ездой поверху, принимая коэффициент сплошности равным 0,4—0,6.

Проверка устойчивости моста. Момент, стремящийся опрокинуть пролетное строение относительно наружного ребра опорной подбалки (фиг. 62):

$$M_{опр} = W_1 h_1 + W_2 h_2 + W_3 h_3, \quad (40)$$

где  $W_1$ ,  $W_2$  и  $W_3$  — расчетные ветровые давления на главные фермы, проезжую часть и перила;

$h_1$ ,  $h_2$  и  $h_3$  — плечи этих давлений.

Удерживающий момент:

$$M_{уд} = P \frac{b_1}{2}, \quad (41)$$

где  $P$  — вес пролетного строения с проезжей частью и связями;

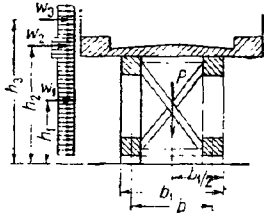
$b_1$  — ширина пролетного строения между наружными гранями поясов.

Коэффициент устойчивости:

$$k = \frac{M_{уд}}{M_{опр}} = \frac{Pb_1}{2 \sum Wh}; \quad (42)$$

Коэффициент устойчивости  $k$  должен быть не менее 1,4.

При расчете на опрокидывание интенсивность ветра принимается равной 200 кг/м<sup>2</sup>.



Фиг. 62. К расчету пролетного строения на опрокидывание

В мостах с ездой понизу проверка на опрокидывание производится аналогичным путем.

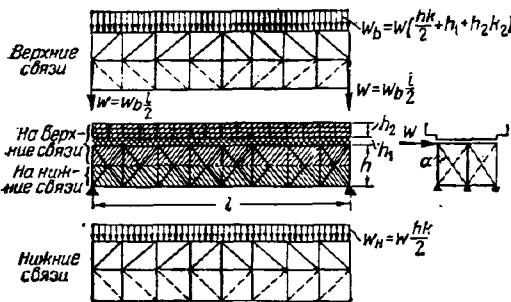
Расчет продольных ветровых связей. Введя обозначения:

$W$  — интенсивность ветра;

$h$  — высота главных ферм;

$h_1$  — высота проезжей части (не прикрытой поясом);

$h_2$  — высота перил;



Фиг. 63. К расчету ветровых связей пролетного строения с ездой поверху

$k_1$  и  $k_2$  — коэффициенты сплошности главных ферм и перил, получим для пролетного строения с ездой поверху (фиг. 63) погонную ветровую нагрузку:

для верхних связей:

$$W_0 = W \left( \frac{h}{2} k + h_1 + h_2 k_2 \right); \quad (43)$$

для нижних связей:

$$W_0 = W \frac{hk}{2}. \quad (44)$$

Как верхние, так и нижние связи рассчитываются как фермы, опирающиеся своими концами и имеющие пролет  $l$ , равный пролету моста.

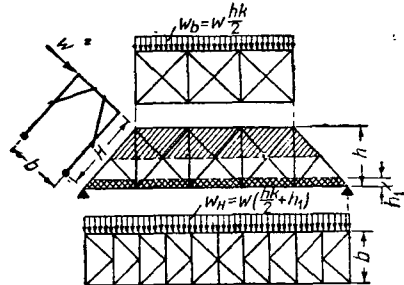
Верхние горизонтальные связи передают свои опорные давления  $W$  с помощью опорных поперечных связей опорам моста. Поэтому диагонали

опорных поперечных связей рассчитывают на передачу горизонтального ветрового усилия:

$$W = W_0 \frac{l_0}{2}. \quad (45)$$

В мостах с ездой понизу ветровые нагрузки на обе системы связей определяются аналогично вышеизложенному.

Особенностью является лишь расчет опорных ветровых (портальных) рам, передающих опорные давления верхних связей  $W = \frac{W_0 l_0}{2}$  опорам моста (фиг. 64).



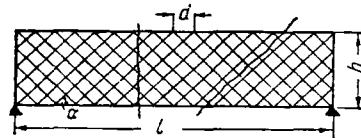
Фиг. 64. К расчету ветровых связей пролетного строения с ездой понизу

Портальные рамы рассчитываются как двухшарнирные.

#### 4) Мосты системы Тауна

Для перекрытия пролетов от 20 до 40 м применяются также пролетные строения с дощатыми фермами Тауна и Лембке.

Фермы Тауна представляют собою систему с параллельными поясами и решетчатым заполнением (фиг. 65); все элементы выполняются из досок. Высота ферм принимается равной  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{9}$  пролета; длина малой панели  $d$  — не



Фиг. 65. Схема фермы Тауна

более 1,0—1,2 м; угол наклона раскосов желательно делать близким к 45°. Число раскосов, пересекаемых вертикальным или наклонным сечением фермы, называют «числом систем» раскосов. Чем больше число систем раскосов, тем меньше усилия, приходящиеся на каждый раскос. Поэтому при более тяжелых нагрузках следует делать более густую решетку. Обычно в фермах Тауна число систем раскосов принимается от 4 до 8.

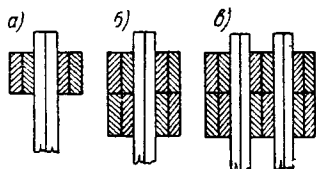
Пояса фермы Тауна состояются из пакетов досок, располагаемых в один или два яруса (фиг. 66, а, б). Пакеты досок пояса имеют по ширине его зазор для пропуска досок решетки. В более тяжелых пролетных строениях решетка может быть двойная (фиг. 66, в). Доски поясов скрепляются между собой и с досками решетки деревянными нагелями и болтами. В каждом па-



кете одноярусных поясов должно быть не более трех досок.

По длине ферм количество досок в поясах изменяется в соответствии с величиной расчетных усилий. Стыки досок поясов располагаются вразбежку.

Для поясов ферм Тауна применяются доски шириной 24—30 см и толщиной 5—8 см.



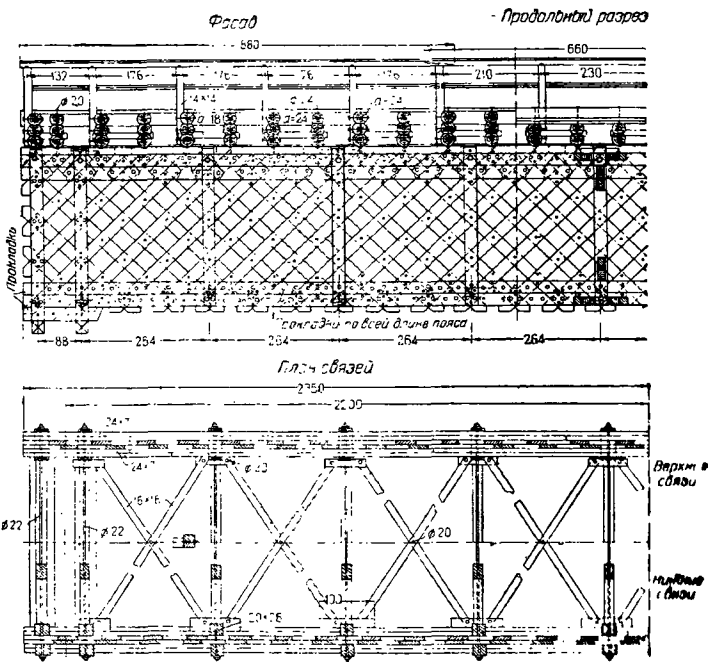
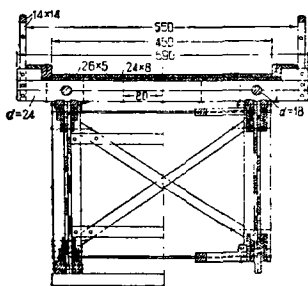
Фиг. 66. Сечения поясов фермы Тауна

Деревянные нагели изготавливаются из молодого дуба. Нагели делаются на конус для обеспечения плотного заполнения ими отверстий и возможности подбивки со временем ослабевших нагелей. Диаметр нагелей принимается 3—6 см, длина на 5—10 см больше толщины скрепляемого пакета.

Перед употреблением в дело нагели хорошо просушиваются и провариваются в масле или пропитываются креозотом. Это предохраняет нагели от усушки и разбухания.

Кроме нагелей устанавливаются болты  $\varnothing 20$ —25 мм в количестве 25—50% от общего числа креплений (болтов и нагелей). Решетка ферм Тауна состоит из раскосов, зажатых своими концами между пакетами досок поясов и связанных нагелями в местах взаимного пересечения.

Все раскосы изготавливаются из досок одинаковой толщины 5—7 см. Ширина досок для удобства размещения болтов и нагелей



Фиг. 67. Конструкция пролетного строения системы Тауна

обычно делается также одинаковой для всех раскосов (16—25 см).

Решетка ферм Тауна для увеличения жесткости обжимается вертикальными брусками, называемыми сжимами или стойками жесткости и располагаемыми друг от друга на расстоянии, равном приблизительно высоте  $h$  фермы, но не более 2,5—3,0 м.

На опорах стойки жесткости делают более мощными.

При большой высоте ферм (более 3 м) решетку кроме вертикальных стоек жесткости обжимают также и горизонтальными брусками.

Мосты системы Тауна проектируются только с ездой поверху; мосты с ездой понизу не применяются из-за трудности опирания на шпалы пояса поперечных балок проезжей части.

Для обеспечения горизонтальной жесткости пролетных строений между фермами устанавливаются горизонтальные продольные и вертикальные поперечные связи.

Вследствие применения дощатого леса, густой решетки и большого количества отверстий и щелей фермы Тауна легко подвергаются загниванию, а также короблению от усушки и разбухания. Поэтому пояса ферм должны быть защищены от действия дождя и прямого нагревания солнцем устройством над ними кровли из толя, листового железа, дощатой обшивки и т. п.

Наиболее целесообразно применение для ферм Тауна древесины, пропитанной антисептиками (креозотом или др.).

На фиг. 67 приведен мост системы Тауна  $l = 22,0$  м.

Пролетное строение имеет две главные фермы, расположенные на расстоянии 3,9 м друг от друга.

Проезжая часть моста состоит из двойного дощатого настила, уложенного по поперечным

балкам. Поперечные балки имеют двухвостное сечение из бревен  $d = 24$  см и связаны попарно для обеспечения устойчивости короткими круглыми анкерами.

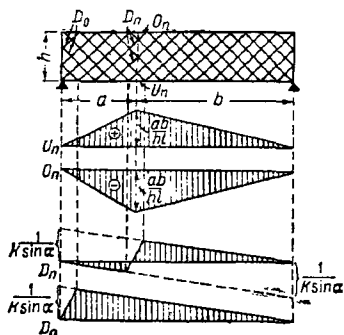
Давление поперечных балок передается на пояса через специальные опорные бруски, обжимающие выступающие поперек пояса концы дощатых раскосов.

Пояса главных ферм составлены каждый из двух ярусов пакетов досок. Сечения поясов в середине пролета имеют по 8 досок. Решетка фермы обжата стойками жесткости брусчатого сечения, расположенными на расстоянии 2,64 м одна от другой.

Образующиеся внутри пояса в промежутках между раскосами щели во избежание загнивания закладываются специальными прокладками. Главные фермы связаны между собой горизонтальными связями, расположенными вдоль верхнего и нижнего поясов. Связи имеют дощатые диагонали и металлические тяжи. Диагонали горизонтальных связей упираются своими торцами частично в стойки жесткости, частично в боковую поверхность пояса. Для укрепления диагоналей поставлены специальные бруски длиной по 0,8 и 1,0 м, притянутые болтами к поясам главных ферм.

Кроме горизонтальных связей пролетное строение имеет и вертикальные поперечные связи в виде крестов из брусков, расположенных в плоскостях стоек жесткости.

Расчет ферм Тауна принято производить в предположении, что усилия в раскосах, пересекаемых одним вертикальным сечением, равны между собой.



Фиг. 68. Линии влияния усилий в элементах фермы Тауна

Тогда усилие  $D$  в раскосах в  $n$ -й панели:

$$D = \frac{Q_n}{k \sin \alpha}, \quad (46)$$

где  $k$  — число систем раскосов.

Усилия в поясах в  $n$ -й панели:

$$U = -O = \frac{M_n}{h}. \quad (47)$$

Линии влияния усилий в элементах ферм Тауна приведены на фиг. 68.

При подборе сечений растянутых поясов за рабочую площадь принимается сечение всех досок за исключением стыковых вкладок с учетом ослабления нагелями и болтами.

В сжатых поясах производится проверка на продольный изгиб в горизонтальной плоскости, причем проверяется как все сечение в целом — при свободной длине, равной длине панели верхних горизонтальных связей, так и отдельная доска — при свободной длине, равной расстоянию между стяжками болтами.

При проверке сжатых раскосов на продольный изгиб из плоскости ферм свободная длина их принимается равной удвоенному расстоянию между центрами пересечения смежных раскосов.

Фермы системы Лембке. Фермы системы Лембке являются разновидностью ферм Тауна, получаемой в случае расположения досок решетки вплотную без прозоров. По конструкции и расчету фермы системы Лембке аналогичны фермам Тауна.

Недостатком ферм Лембке является быстрая загниваемость. Поэтому фермы Лембке используются лишь для временных сооружений (например как подмости для постройки металлических и других мостов), где требуются простота и компактность конструкции при коротком сроке службы<sup>1</sup>.

## 8. Опоры деревянных мостов средних пролетов

### 1) Общие сведения

В зависимости от местных условий (грунтовые условия, водный режим реки, интенсивность ледохода и др.) и системы моста опоры могут быть следующих типов: 1) свайные опоры, 2) рамные, 3) ряжевые и 4) каменные.

Свайные опоры наиболее широко применяются для мостов малых и средних пролетов в тех случаях, когда грунт допускает забивку свай.

Рамные опоры, составляемые из цельных, заранее заготовленных звеньев, применяются в тех случаях, когда желательными являются механизация и увеличение темпа работ, а также и в случаях устройства мостов через суходолы, ущелья или овраги со скалистым грунтом, не допускающим забивки свай.

Ряжевые опоры состоят из деревянных ящиков-срубов, загружаемых камнем и опускаемых на дно. Ряжевые опоры применяются в мостах через реки со скалистым или, наоборот, с очень слабым дном, не допускающим забивки свай.

Каменные опоры применяются для деревянных мостов в многоводных реках с сильным ледоходом, когда устройство деревянных опор чрезвычайно трудно, а иногда и невозможно.

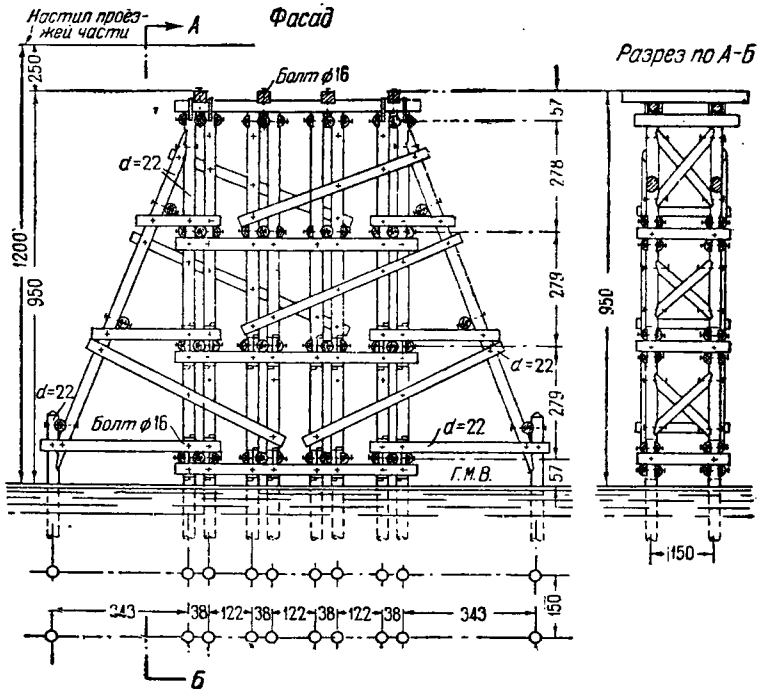
### 2) Свайные опоры

В качестве примера свайных опор для мостов с решетчатыми фермами на фиг. 69 приведена конструкция опоры под пролетные строения с ездой понизу и на фиг. 70 — под пролетные строения с ездой поверху.

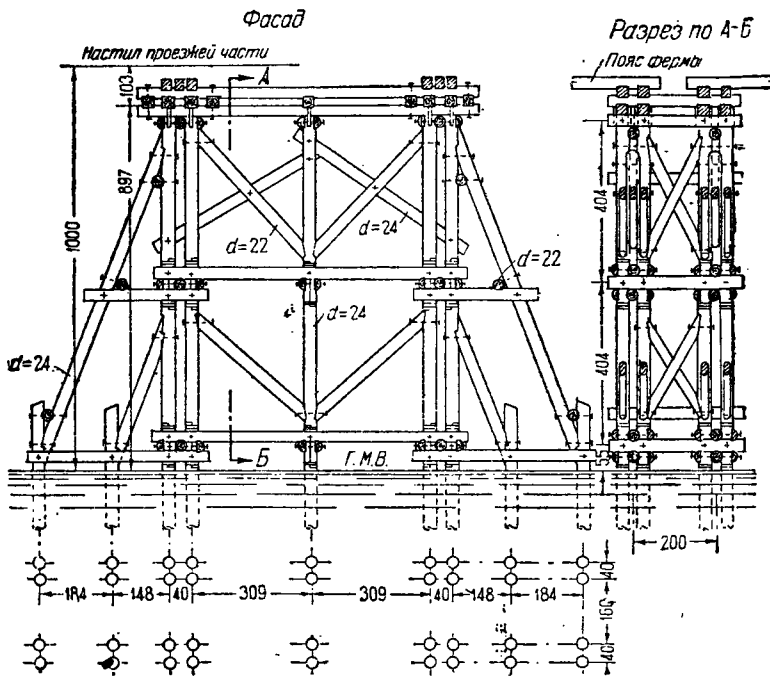
Каждая опора имеет в местах опирания пролетных строений по кусту коренных свай. Количество свай в кусте определяется величиной передаваемого фермами опорного давления. Ширина опор по фасаду моста в зависимости от их высоты принимается равной 1,0—2,5 м.

Продольная и поперечная жесткость опор обеспечивается постановкой горизонтальных и диагональных схваток в обоих направлениях. Для увеличения поперечной жесткости опор устанавливаются также укосины. Горизонтальные схватки делят опору по высоте на ярусы; высота каждого яруса должна быть не более 3—4 м.

<sup>1</sup> Увеличение долговечности ферм Лембке может быть достигнуто путем применения между слоями стенки сплошного слоя суперобмазки (см. «Борьба с гниением, животными-вредителями древесины и пожарной опасностью»). (Прим. ред.)



Фиг. 69. Конструкция свайной опоры моста с ездой понизу



Фиг. 70. Конструкция свайной опоры моста с ездой поверху

В случае большой глубины забивки свай необходимо их наращивание. Наращивание свай делают на уровне нижних горизонтальных схваток. В высоких опорах наращивание необходимо и в пределах надводной части свай. В этом случае стыки располагают в уровне верхних ярусов горизонтальных схваток (фиг. 69 и 70).

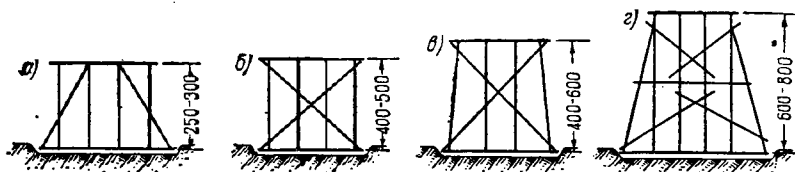
При большой глубине воды подводная часть свай требует укрепления. Это осуществляется постановкой деревянных или металлических подводных связей и устройством каменной наброски.

### 3) Рамные опоры

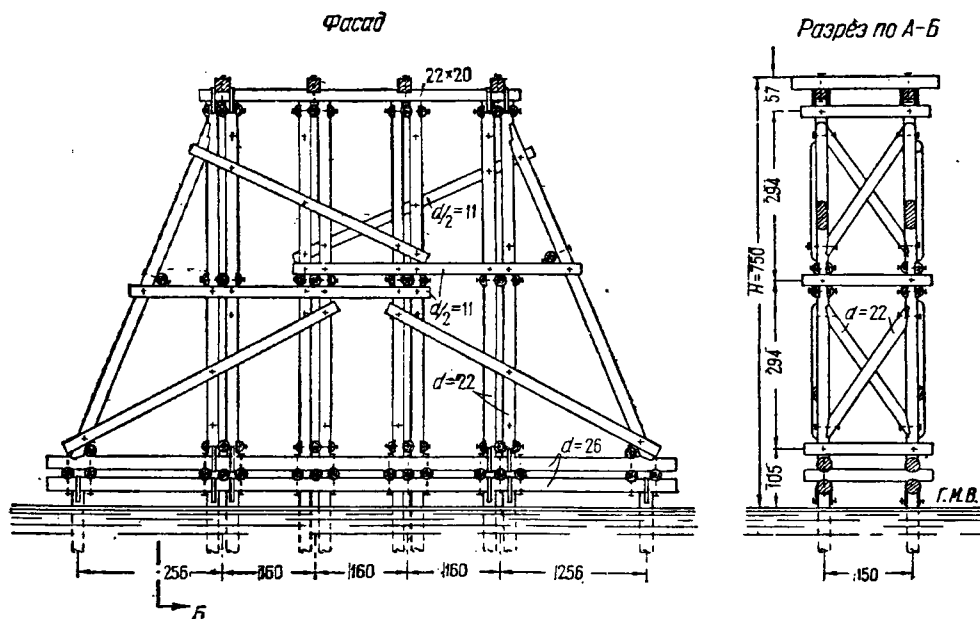
Рамные опоры состояются из отдельных звеньев (рам), изготовляемых заранее и устанавливаемых на место непосредственно на грунт в готовом виде.

Сваи обрезаются на высоте 0,25—0,5 м над горизонтом меженных вод; верх свай устанавливается насадка, связанная со сваями хомутами; на насадку укладываются круглые коротыши, служащие опорами для установленных выше рам. Каждая опора состоит из двух самостоятельных рам, связываемых между собою (по фасаду моста) горизонтальными схватками и диагональными распорными крестами. Все элементы рамы связывают между собою помощью врубок и металлических скреплений. Это позволяет производить сборку рам в стороне на берегу и затем устанавливать их на место целиком в готовом виде.

В случае установки рам на скалистом или каменистом грунте конструкция рам аналогична выше рассмотренной, но нижний лежень укладывается в этом случае на выравненное



Фиг. 71. Основные схемы рам



Фиг. 72. Конструкция рамной опоры

В зависимости от величины давлений, действующих на опоры, и от их высоты опоры устраиваются из одного или двух рядов рам, причем для высоких опор рамы ставят друг на друга (многоярусные рамные опоры).

Высота отдельных рам обычно назначается не более 5—6 м. Основные типы рам, применяемых для опор мостов, схематически представлены на фиг. 74.

На фиг. 72 приведена конструкция рамной опоры, опирающейся на сваи, забитые в дно реки.

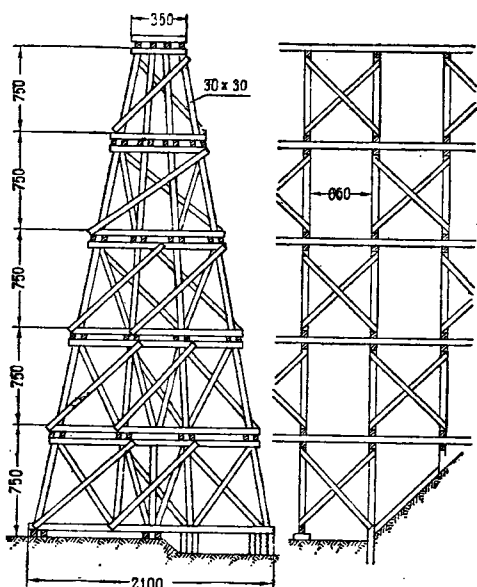
дно углубления—траншеи, устраиваемой в грунте. Лежень опирается на дно траншеи либо непосредственно либо на подложенные под него небольшие коротыши (фиг. 15). Для лучшего распределения давлений под лежень рекомендуется укладывать слой песка или гравия.

Рамные опоры большой высоты делают многоярусными, устанавливая ряды рам один на другой. Высота каждого яруса делается обычно не более 5—6 м. Для обеспечения жесткости многоярусных опор рамы, лежащие друг на друге, связывают металлическими скреплениями и кро-

ме того укладывают между ними продольные лежни, служащие для передачи давлений рам и для обеспечения продольной жесткости моста (фиг. 73).

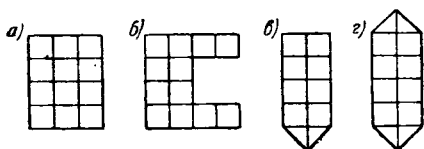
#### 4) Ряжевые опоры

Ряжем навивают деревянный ящик (сруб) из бревен, имеющий стенки, дно и перегородки. Ряж устанавливается на предварительно осланированное дно реки и заполняется камнем до



Фиг. 73. Многоярусная рамная опора

уровня высоких вод. Ряжевые опоры требуют большого количества лесоматериала и камня. Вследствие большой ширины ряжевые опоры сильно стесняют русло реки. Поэтому применение их уместно лишь при больших пролетах моста и лишь в тех случаях, когда применение опор другого типа невозможно.



Фиг. 74. Схемы ряжевых опор

Для береговых опор (устоев) и опор маловодных рек ряжи делают в плане прямоугольными (фиг. 74, а); высокие устои — обычно с обратными стенками (фиг. 74, б).

Ряжевым быкам для лучшей обтекаемости в плане придают заострения с верховой стороны, а иногда также и с низовой (фиг. 74, в, г).

Конструкция ряжевой опоры приведена на фиг. 75. Стены ряжа рубятся из бревен или пластин диаметром 20—26 см. Бревна укладывают друг на друга с небольшой притеской для лучшей передачи давлений. Углы стен рубятся без остатка «в лапу» или же с остатком — «в обло» или «в присек»

Для предохранения стен ряжа от выпучивания под действием каменного заполнения ставятся вертикальные обжимные брусья — «сжимы» — и поперечные перегородки или анкерные схватки. Перегородки ставят на расстоянии 2—3 м друг от друга.

Отверстия для болтов в сжимах полезно делать овальными, чтобы не препятствовать осадке стен ряжа.

Дно ряжа делается из бревен или пластин  $d = 20-24$  см, врубленных в стены ряжа обычно между вторым и третьим венцами ряжа. Венцы, находящиеся ниже дна, образуют нож ряжа, который врезается в грунт.

Дно ряжа делается с зазорами или сплошное. Чем плотнее грунт, тем больше могут быть зазоры; при слабом грунте дно ряжа делается сплошным. В случае установки ряжа на скалистый грунт дна можно вовсе не делать.

Ширина ряжа в направлении оси моста понизу должна быть не менее  $0,35-0,20H$ , где  $H$  — высота ряжа. Высокие ряжи следует делать ступенчатыми (фиг. 76).

При сильном ледоходе ряжи снабжаются специальными ледорезами.

При большой высоте моста над горизонтом высоких вод целесообразно применение ряжевых опор с рамной надстройкой. В этом случае ряжевая конструкция выводится лишь на 0,5—1,0 м выше горизонта высоких вод, верхняя же часть опоры делается более дешевого рамного типа (фиг. 77).

Изготовление, сборка и установка ряжей могут производиться как летом, так и зимой. При постройке ряжей летом сперва производится сборка ряжа на берегу, после чего ряж спускается на воду, подводится на плаву к месту установки и опускается на дно путем надстройки венцов. Загрузку ряжа камнем следует производить после правильной посадки его на дно. В зимнее время сборка и спускание ряжа производятся со льда. Постройка ряжей зимой удобнее и дешевле.

#### 5) Ледорезы

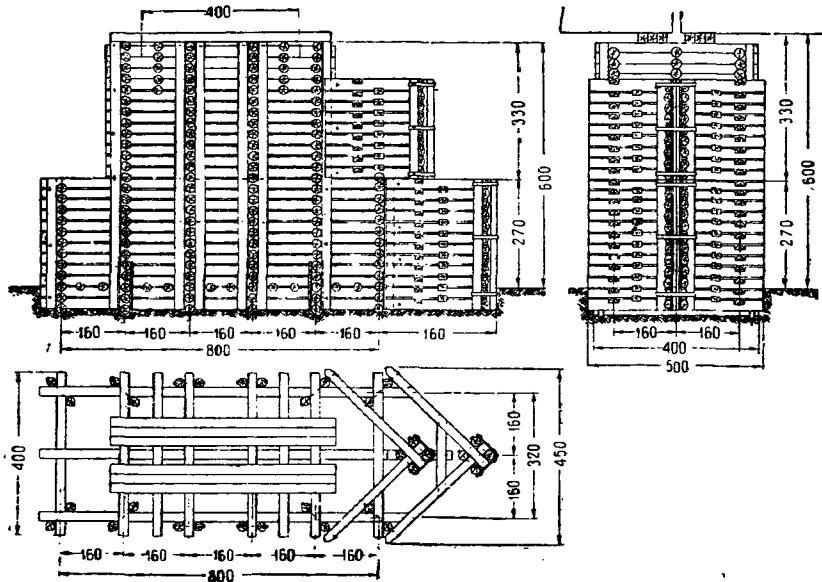
Для предохранения опор деревянных мостов от повреждений льдинами во время ледохода устраивают ледорезы. Ледорезы располагаются перед каждой речной опорой на расстоянии 2—8 м вверх по течению (фиг. 78) в зависимости от скорости течения. При быстром течении ледорезы удаляют от опор на 6—8 м; при медленном течении — на 2—4 м. На реках с весьма сильным ледоходом один ряд ледорезов может оказаться недостаточным; тогда выше по течению, на расстоянии 30—50 м от первого ряда ледорезов устраивают еще второй ряд «аванпостных» ледорезов (фиг. 78). Аванпостные ледорезы располагаются в шахмат по отношению к основным ледорезам.

Ледорезы могут быть свайными и ряжевыми. Свайные ледорезы применяются наиболее часто, ряжевые ледорезы устраиваются только в тех случаях, когда дно реки не допускает забивки свай.

##### а) Простейшие ледорезы

Простейшие ледорезы в виде куста свай могут быть устроены в мостах через малые реки со слабым ледоходом. Каждый такой куст состоит из трех и более свай, забитых на расстоянии 1—2 м от опоры. Сваи скрепляются между собою

хомутами из полосового железа. Верх свай возвышается над горизонтом самого высокого ледохода не менее чем на 0,8—1,0 м. Чтобы верхние концы свай не загнивали, куст покрывают крышней из кровельного железа или досок. Глубина забивки свай должна быть не менее 3—4 м. На фиг. 79 показан кустовой ледорез из четырех свай

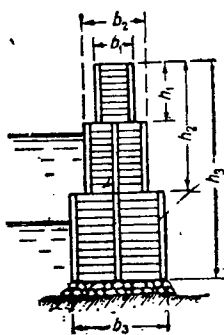


Фиг. 75. Конструкция ряжевой опоры

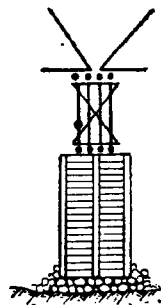
#### б) Плоские ледорезы

Плоские ледорезы устраиваются для защиты уаких (однорядных) опор мостов при слабом или среднем ледоходе.

Схема плоского ледореза приведена на фиг. 80. Ледорез состоит из ряда свай, забиваемых на



Фиг. 76. Ступенчатый ряж



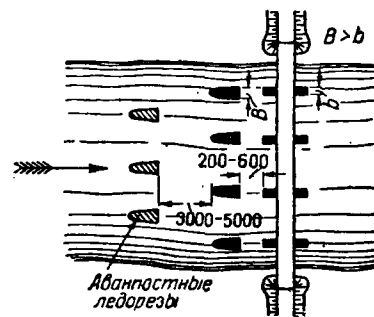
Фиг. 77. Схема ряжевой опоры с рамной надстройкой

расстояниях 2—2,5 м друг от друга. Глубина забивки свай должна быть не менее 2,5—3 м. Первая по течению свая —  $a$ , воспринимающая удары льда особенно сильно, усиливается одной или несколькими дополнительными сваями, забиваемыми рядом со свай  $a$ . Эти сваи образуют головную часть ледореза.

Верх свай срезается наклонно и на них укладывается наклонный элемент, называемый «режущим» или «шпалочным».

Принцип работы ледореза с наклонной режущей гранью заключается в том, что льдина, встречая на своем пути наклонную грань ледореза, под влиянием инерции и напора других льдин поднимается по ней и, поднявшись из воды, разла-

мывается от собственного веса. Для наклона режущего ребра  $i$  можно рекомендовать следующие значения: при слабом ледоходе — от 1 : 1 до 1 : 1,2, при среднем ледоходе — от 1 : 1,5 до 1 : 2, при сильном ледоходе — от 1 : 1,5 до 1 : 2,5.

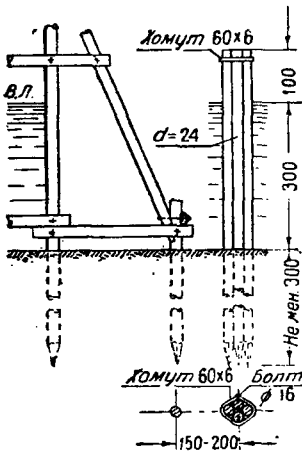


Фиг. 78. Схема расположения ледорезов

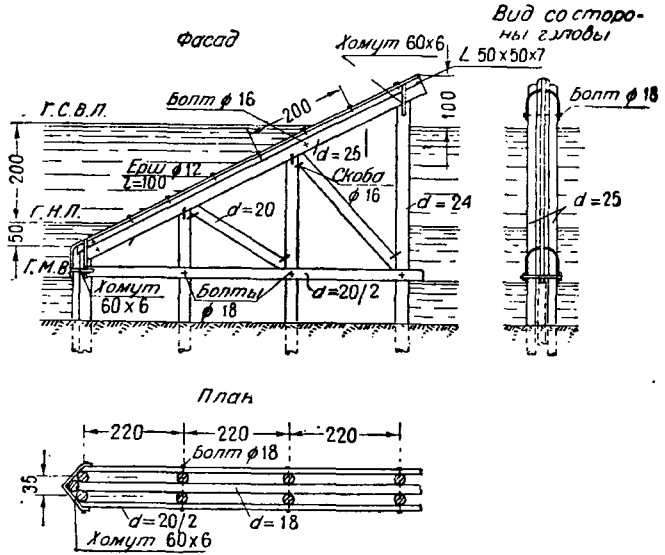
Верх режущего ребра ледореза должен возвышаться над горизонтом самого высокого ледохода не менее чем на 1—1,5 м, нижний же конец режущего ребра должен быть ниже самого низкого ледохода не менее чем на 0,5—1,0 м. Режущая грань ледореза обычно укрепляется металлом.

Жесткость конструкции ледореза обеспечивается постановкой подкосов  $d$  и схваток  $c$  (фиг. 80).

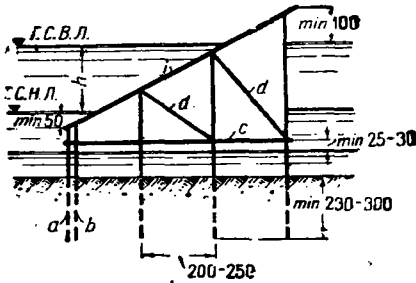
Для предохранения подкосов и схваток ледореза от повреждений льдинами боковые поверх-



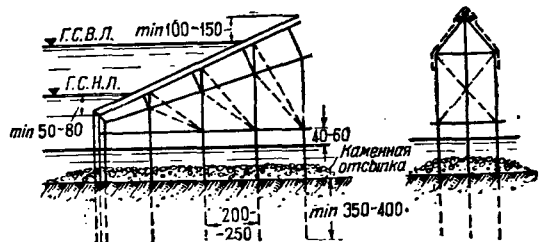
Фиг. 79. 1. устовой ледорез



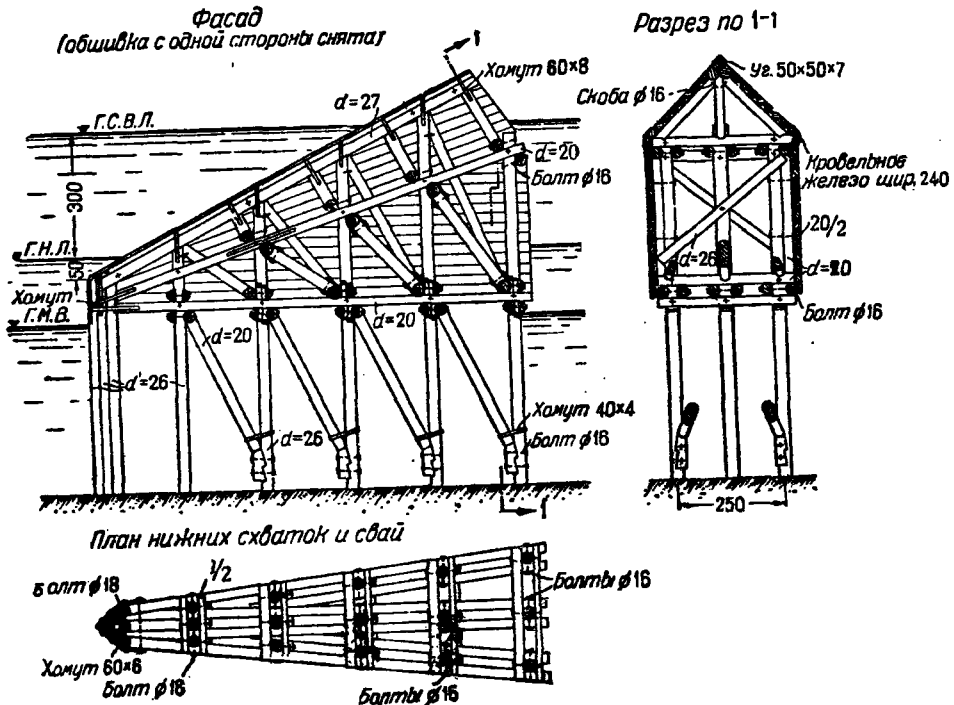
Фиг. 81. Конструкция плоского ледореза



Фиг. 80. Схема плоского ледореза



Фиг. 82. Схема шатрового ледореза



Фиг. 83. Конструкция шатрового ледореза

восте ледореза обшивают досками или пластинами.

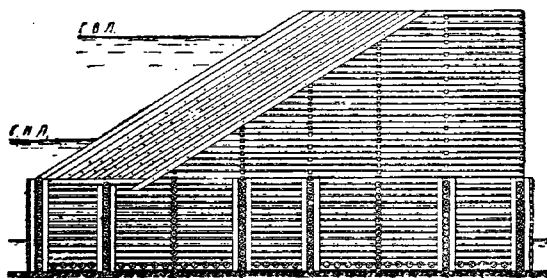
Конструкция плоского ледореза из пяти свай приведена на фиг. 81.

Для защиты от льда мостовых опор несколько большей ширины плоские ледорезы могут быть уширены путем наклонной забивки свай.

### в) Широкие ледорезы

Широкие ледорезы необходимы для защиты от ледоходов широких мостовых опор. Для мостов через реки с сильным ледоходом обычно применяют так называемые «шатровые» ледорезы. Схема шатрового ледореза приведена на фиг. 82. Ледорез образуется из нескольких рядов свай. Сваи среднего ряда срезаются наклонно и по ним укрепляется нож ледореза, состоящий обычно из трех сплоченных между собой бревен, называемых шапочными.

По обеим сторонам от среднего ряда забивают по ряду свай, расходящихся в плане (фиг. 83) и образующих уширение ледореза в сторону к



Фиг. 84. Конструкция рязжевого ледореза

опоре моста. Верх этих свай срезается наклонно и по ним укрепляются наклонные схватки (или насадки), прижимающие передним концом к головному кусту свай ледореза.

Непосредственно в наклонные схватки или в пологие на них поперечные схватки уширяются короткие подкосы, верхними своими концами подпирающие шапочные бревна ножа ледореза и образующие конструкцию, напоминающую шатер; отсюда и название этого типа ледорезов — шатровые.

Вся конструкция ледореза в надводной ее части, т. е. выше горизонта межених вод, связывается и укрепляется схватками и подкосами.

Шатровая часть ледореза и боковые его грани обшиваются досками или пластинами для предохранения от повреждений льдинами. Шатровый ледорез следует делать шириной (сзади) на 0,3—0,5 м более ширины мостовой опоры и располагать его выше по течению на 3—6 м от крайней сваи опоры.

На фиг. 83 приведена конструкция шатрового ледореза, применяемого на реках с сильным ледоходом.

При большой глубине межених вод сваи ледореза в нижней части следует связывать между собой подводными подкосами (фиг. 83) или металлическими тяжами; желательны также укрепления два и ниже части свай каменной отсыпкой.

### г) Рязжевые ледорезы

Рязжевые ледорезы применяются в тех случаях, когда дно реки не допускает забивки свай, на-

пример при скалистом, каменистом или, наоборот, весьма слабом грунте.

Рязжевые ледорезы устраивают либо отдельно от быка либо же соединяют ледорез в одно целое с быком, учитывая, что благодаря массивности рязжевых опор удары льдин не смогут вредно повлиять на конструкцию моста.

Пример конструкции рязжевого ледореза приведен на фиг. 84.

Изготовление, сборка и установка рязжевых ледорезов производится так же, как и рязжевых опор.

## 9. Особенности деревянных мостов в районах вечной мерзлоты

### 1) Общие сведения

Вечно мерзлым грунтом, или вечной мерзлотой, называется слой земли, расположенный на некоторой глубине от ее поверхности, сохраняющий всегда температуру ниже нуля. В СССР вечная мерзлота занимает значительную площадь, охватывая всю северную часть Сибири.

По своему строению вечная мерзлота представляет собой частицы грунта, связанные льдом. При достаточно мощном слое (более 3 м) вечно мерзлый грунт, если только предотвращена возможность его оттаивания, является вполне прочным основанием для сооружений. При оттаивании вечная мерзлота обычно превращается в жидкую массу, совершенно не способную воспринимать нагрузку. Верхний слой грунта, прикрывающий вечную мерзлоту, оттаивающий летом, называют деятельным, или активным, слоем.

Вредное действие вечной мерзлоты на деревянные мосты может обуславливаться нагреванием вечной мерзлоты или пучением активного слоя. Вследствие малой теплопроводности дерева наиболее часто наблюдается пучение опор деревянных мостов, вызываемое тем, что активный слой, примерзая в начале зимы к сваям опор, увеличивается в объеме при замерзании, поднимает сваи вместе с собой. Кроме того наблюдаются также пучения, вызываемые давлением грунтовых вод.

При пересечении больших рек от пучений страдают главным образом ноименные опоры моста, так как речные опоры и устои защищены от промерзания: первые — слоем воды, вторые — насыпью.

### 2) Меры, предохраняющие деревянные мосты от деформаций в условиях вечной мерзлоты

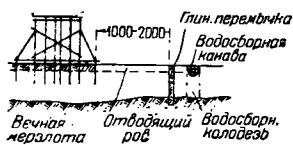
Вредные влияния вечной мерзлоты на деревянные мосты могут быть предотвращены либо путем устранения отрицательных свойств вечно мерзлого грунта либо путем применения конструкций, сопротивляющихся деформациям от пучения.

К мероприятиям первого рода относятся: 1) осушение активного слоя помощью дренажей и 2) устройство мерзлотных поясов.

При устройстве дренажа грунтовые воды на расстоянии 10—20 м выше сооружения пересекаются глиняной перемычкой, врезаемой до слоя вечной мерзлоты (фиг. 85). Выше перемычки вырываются водосборная канава и колодцы, засыпаемые камнем и утепляемые сверху глиной с соломой, навозом и др. Вода, собирающаяся в водосборных колодцах, выводится за пределы сооружения помощью отводящих рвов, также заполняемых камнем.



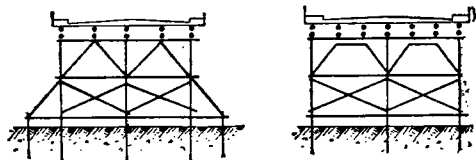
Другой мерой для задержки грунтовых вод является применение «мерзлотных поясов». Мерзлотным поясом называется канава, вырытая поперек тальвега на расстоянии 100—150 м выше сооружения, имеющая ряд глубоких колодцев (срубов или бетонных), доходящих до вечной мерзлоты. С наступлением зимы грунт вокруг мерзлотного пояса быстро промерзает на большую глубину и преграждает путь грунтовой воде, которая, ища себе выхода, вырывается на поверхность земли, образуя наледи.



Фиг. 85. Схема устройства глиняной перегородки, водосборных канав и колодцев

Устранение опасности деформаций может быть также осуществлено заменой пучинистого грунта или его утеплением. Первый способ заключается в том, что котлован для лежневых или ряжевых опор заполняется грунтом, плохо примерзающим к дереву (галька, гравий).

Утепление производится путем устройства вокруг опор небольших насыпей из песка, навоза и др., уменьшающих глубину промерзания и предотвращающих образование пучины.



Фиг. 86. Схемы опор с уменьшенным числом свай

Применение описанных мероприятий на многоводных реках встречает большие затруднения. Поэтому в этих случаях приходится прибегать к конструктивным мерам, предотвращающим появление деформаций моста.

Одной из таких мер является применение ряжевых опор, вес которых настолько велик, что грунт при пучении не может их поднять. При применении свайных опор необходимо стремиться к увеличению давлений, передаваемых на отдельные сваи, и уменьшению периметра их смерзания с грунтом. Это может быть достигнуто уменьшением числа свай в опорах (фиг. 86) за счет увеличения их диаметра, а также применением больших пролетов.

### 3) Особенности постройки мостов в районах вечной мерзлоты

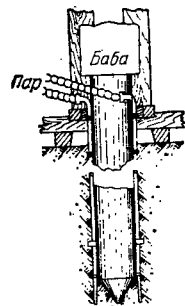
Постройка опор деревянных мостов в районах вечной мерзлоты представляет большие трудности.

Рытье котлованов под лежневые или ряжевые опоры следует производить в начале зимы, применяя способ вымораживания. Сущность его заключается в том, что грунт разрабатывается постепенно слоями, причем все время оставляется ветреной мерзлая корка толщиной 0,25—0,30 м. Для ускорения промерзания грунта

можно применять забивку в дно котлована заткнутой снизу металлических трубок.

Забивка свай в вечную мерзлоту может производиться двумя способами. Более примитивный из них состоит в том, что в грунт забивается металлическая обсадная труба, внутрь которой опускают накалинные куски металла. Оттаивающий грунт из трубы удаляется, после чего трубу вытаскивают, получившееся отверстие засыпают песком и после этого забивают в него сваю.

Более современной является забивка свай помощью паровых игл. Паровой иглой называют прикрепляемую к свае тонкую металлическую трубку, по которой нагнетается пар под давлением 4—6 атм (фиг. 87). Растворяющая мерзлый грунт, паровая игла дает возможность свае опускаться под легкими ударами ручной бабы.



Фиг. 87. Забивка свай помощью паровой иглы

## 10. Наплавные мосты

### 1) Общие сведения

«Наплавными» называют мосты на пловучих опорах.

В качестве пловучих опор могут быть использованы плоты, понтоны, баржи, плашкоуты.

Наплавные мосты могут выдерживать весьма тяжелые нагрузки (грузные железнодорожные вагоны и даже паровозы), однако большой объем необходимых пловучих опор затрудняет устройство наплавных мостов под тяжелую нагрузку; поэтому наплавные мосты применяются, как правило, лишь на безрельсовых дорогах.

Особенностью наплавных мостов является их сезонность. На зиму такие мосты разбирают и уводят в специальные затоны. Иногда однако наплавные мосты эксплуатируются и зимой и их разводит лишь на период весеннего ледохода.

В зависимости от типа пловучих опор наплавные мосты разделяются на: 1) плотовые, 2) понтоновые и 3) плашкоутные.

### 2) Плотовые мосты

Простейшим типом наплавных мостов являются плотовые мосты, состоящие из ряда плотов, перекрытых прогонами, поддерживающими проезжую часть.

Плоты устраиваются из одного или нескольких рядов бревен, стянутых между собой веревками, проволокой и др. и скрепленных также поперечными бревнами или брусками. Для улучшения обтекаемости бревна плота следует связывать между собой возможно плотнее; в плане же плотам желательно придавать несколько заостренное очертание.

Основным недостатком плотовых мостов является малая подъемная сила плотов и значительное стеснение реки. При этом подъемная сила плотовых мостов постепенно снижается вследствие насыщения бревен водой и илов, забивающихся в промежутки между бревнами. Плоты закрепляются на месте якорями, выбираемыми с верхней стороны моста. Кроме того во избежание сноса моста ветром с нижней

стороны также забрасывают якоря, но не с каждого плота, а через один или два.

Для лучшего закрепления плотового моста иногда между берегами натягивают канат, к которому прикрепляют носовые части плотов.

Конструкция плотового моста приведена на фиг. 88.

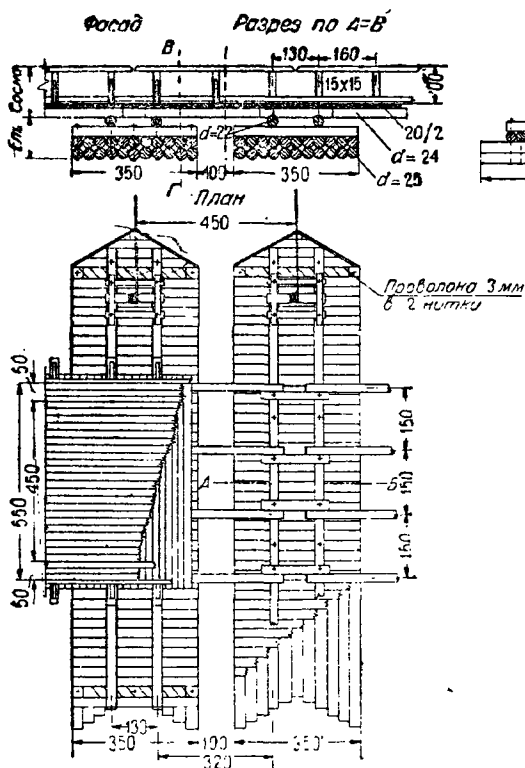
где  $n$  — число плотов;

$V$  — объем бревен плота;

$\gamma$  — удельный вес воды;

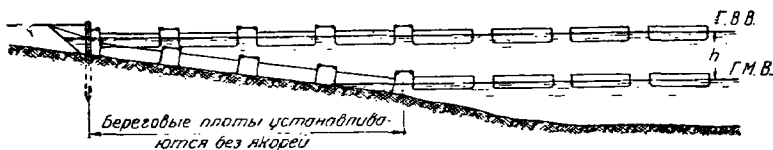
$\gamma_1$  — удельный (объемный) вес дерева в плотах.

Объемный вес дерева, принимаемый при расчетах, приведен в табл. 3.



Фиг. 88. Конструкция плотового моста

Прогоны этого моста опираются на каждый плот помощью двух опорных бревен; для уменьшения крена плотов бревна желательно располагать возможно ближе к середине плота. Сопряжение плотовых мостов с берегами наиболее часто устраивается путем планирования берега с тем, чтобы при понижении горизонта вод часть плотов ложилась на землю (фиг. 89).



Фиг. 89. Сопряжение плотового моста с берегом

В случае, когда по реке необходимо пропускать суда, в плотовом мосту устраивают выводной элемент.

Несущая способность плотового моста определяется по формуле:

$$W = nV(\gamma - \gamma_1), \quad (48)$$

обладают большой несущей способностью, позволяющей пропускать по мосту тяжелые нагрузки. Сопряжение плашкоутного моста с берегом осуществляется при помощи эстакады и переходного пролета  $L$  (фиг. 90), необходимого для обеспечения возможности въезда на мост при различных

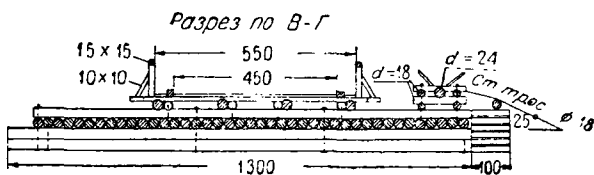


Таблица 3

Объемный вес древесины

| Порода                | Воздушно-сухая древесина | Свежесрубленная древесина |
|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
| Сосна . . . . .       | 650                      | 810                       |
| Ель . . . . .         | 560                      | 700                       |
| Лиственница . . . . . | 540                      | 790                       |
| Ясень . . . . .       | 700                      | 900                       |
| Дуб . . . . .         | 900                      | 1 150                     |

Вследствие поглощения воды объемный вес древесины в плотах со временем увеличивается на 10—25% (в зависимости от начальной влажности), что должно быть учтено при расчете.

### 3) Понтоновые мосты

Понтонными мостами называют разновидность наплавных мостов, опорами которых служат замкнутые, полые внутри ящики — понтоны, изготавливаемые из дерева, металла и других материалов. Пролеты между понтонами перекрываются прогонами или легкими фермами, поддерживающими проезжую часть моста. Понтоны закрепляются якорями и канатами аналогично плотовым мостам.

Понтоновые мосты применяются наиболее часто в условиях военного времени для быстрого устройства переправ через глубокие реки.

### 4) Плашкоутные мосты

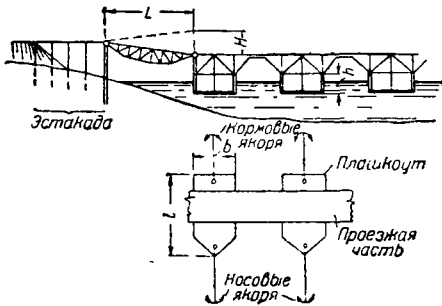
Плашкоутные мосты состоят из пловучих опор в виде деревянных или металлических сосудов — плашкоутов, поддерживающих пролетные строения моста (фиг. 90). Плашкоуты

горизонтах воды в реке. Длина переходного пролета  $L$  определяется по формуле:

$$L = \frac{H}{2i_{\max}}, \quad (49)$$

где  $H$  — наибольшая амплитуда колебаний уровня воды;

$i_{\max}$  — предельный уклон для въездов на мост, принимаемый для автодорожных мостов  $i_{\max} = 0,04-0,06$



Фиг. 90. Схема плашкоутного моста

Для пропуска судов в плашкоутных мостах устраивают специальные выводные секции.

Несущая способность плашкоута определяется по формуле:

$$W = \gamma \omega h_{\max} - Q_0, \quad (50)$$

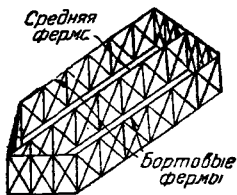
где  $\omega$  — площадь дна плашкоута;

$h_{\max}$  — наибольшее допустимое погружение;

$Q_0$  — собственный вес плашкоута.

Наибольшее допустимое погружение плашкоутов обычно ограничивается величиной  $h_{\max} = 1,2-2$  м; размеры плашкоутов в плане принимаются в пределах  $b = 2,5-6$  м,  $l = 12-36$  м; длина заостренной части принимается равной  $(0,5-1,0)b$ .

Несущая конструкция плашкоута представляет собою каркас из продольных ферм, расположенных в плоскостях бортов (фиг. 91) и ряда поперечных полурам, называемых шпангоутами (фиг. 92), вертикальные элементы которых входят в состав бортовых ферм. В мощных плашкоутах кроме двух бортовых ферм ставят еще третью продольную ферму на оси плашкоута.



Фиг. 91. Схема каркаса плашкоута

Снизу плашкоутов укрепляются продольные балки — кильсоны, по которым устраивается обшивка из досок. Бортовая обшивка обычно пришивается непосредственно к элементам бортовых ферм.

Конструкция плашкоута под тяжелую нагрузку приведена на фиг. 93.

При расчете конструкции плашкоут может рассматриваться как балка, нагруженная сверху давлениями от постоянной и временной нагрузок  $P$  и  $P_0$ , снизу же — давлением воды  $W$  (фиг. 94). Под действием означенных нагрузок продольные фермы плашкоута работают на срезывание и изгиб.

На фиг. 94 приведены эпюры: давления воды, поперечных сил и моментов, действующих на продольные фермы плашкоута.

Пользуясь этими эпюрами, могут быть определены усилия во всех элементах продольных ферм плашкоута.

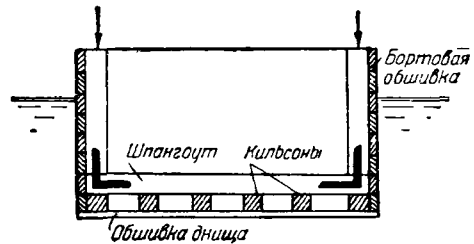
Работа всего плашкоутного моста в целом и метод его расчета определяются конструкцией пролетных строений и способом опирания их на плашкоуты.

Простейшей системой плашкоутного моста является цепь из плашкоутов, соединенных свободно в центрально опертых на них балок (фиг. 95).

При нахождении груза  $P = 1$  в центре плашкоута последний погружается на глубину  $h$ , определяемую по формуле:

$$h = \frac{1}{\gamma \omega}, \quad (51)$$

где  $\omega$  — площадь дна плашкоута.



Фиг. 92. Схема поперечного сечения плашкоута

При движении груза  $P = 1$  по мосту вследствие разности погружений соседних плашкоутов пролетные строения будут наклоняться, причем предельный уклон  $n$ -го пролета:

$$i_n = \frac{h_{n+1} - h_n}{l_n}, \quad (52)$$

где  $h_n$  и  $h_{n+1}$  — погружения плашкоутов, поддерживающих  $n$ -й пролет;

$l_n$  — длина пролета.

Линии влияния погружения плашкоута и продольного наклона пролетного строения приведены на фиг. 95.

В случае, если давления от пролетных строений передаются на плашкоуты не центрально, а через борта, плашкоуты будут погружаться не равномерно, а с креном.

При действии на плашкоут груза  $P$ , приложенного с эксцентриситетом  $e$ , погружение какой-либо точки дна на расстоянии  $x$  от центра дна (фиг. 96) выражается формулой:

$$\delta = \frac{P}{\gamma \omega} \pm \frac{Pex}{kI\gamma} = \frac{P}{\gamma \omega} \left( 1 \pm \frac{ex}{k\varrho^2} \right), \quad (53)$$

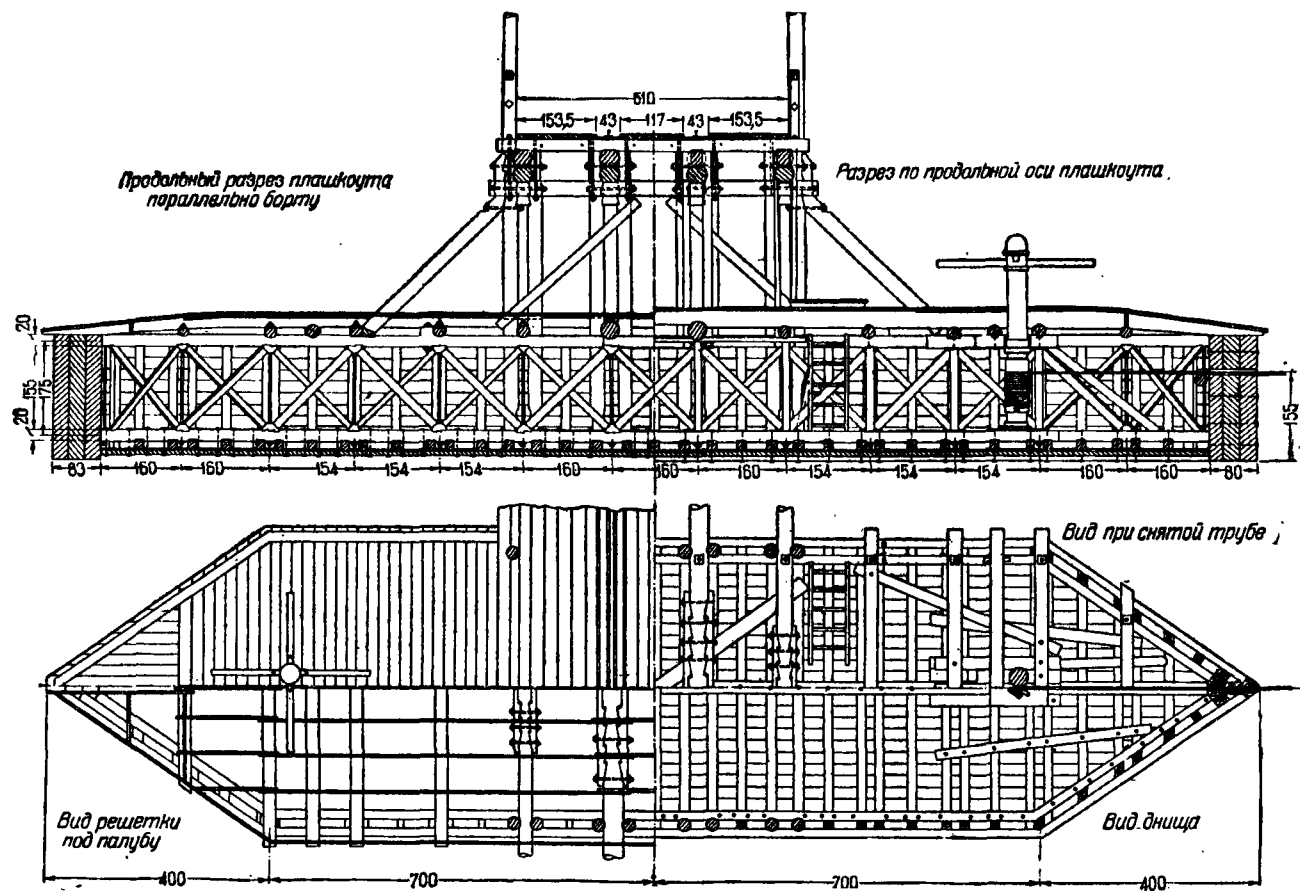
где  $k$  — коэффициент, зависящий от высоты плашкоута (обычно принимают  $k = 1$ );

$I = \varrho^2 \omega$  — момент инерции площади дна плашкоута;

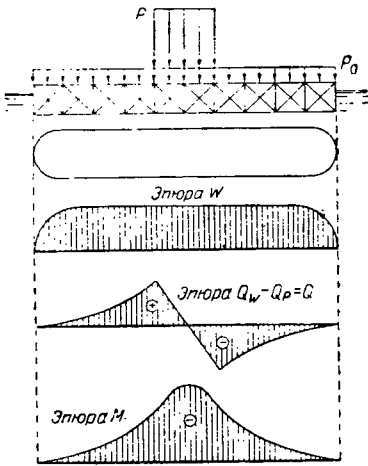
$\varrho$  — радиус инерции этой площади.

С помощью ф-лы (53) на фиг. 97 построены линии влияния деформаций плашкоутного моста с передачей давлений через борта.

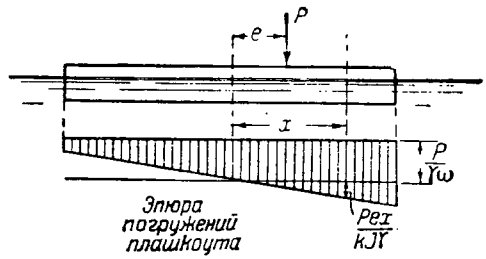
Для уменьшения погружений плашкоутов и распределения давления от временной нагрузки на большее число опор в плашкоутных мостах под тяжелую нагрузку применяют пролетные строения в виде неразрезных балок или ферм (фиг. 98). Расчет плашкоутного моста производится в этом случае как неразрезной балки (фермы) на упруго опускающихся и упруго поворачивающихся опорах.



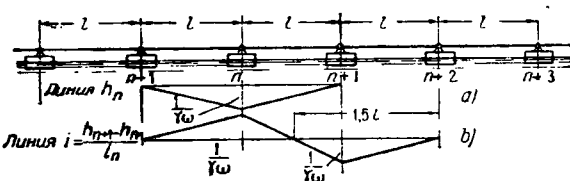
Фиг. 93. Конструкция палубы



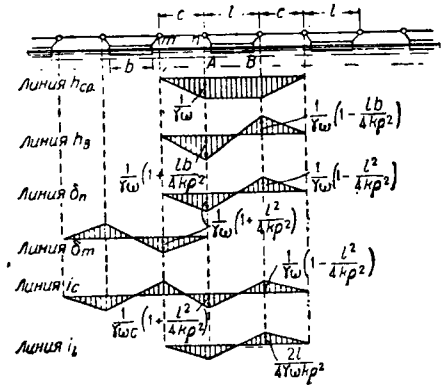
Фиг. 94. Эпюра усилий для продольных ферм плашкоута



Фиг. 96. Действие эксцентричной нагрузки на плашкоут



Фиг. 95. Линии влияния деформаций простейшей цепи плашкоутов



Фиг. 97. Линии влияния деформаций плашкоутного моста с передачей давлений через борта



Фиг. 98. Схема плашкоутного моста с неразрезными пролетными строениями

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

Данные о затрате материалов (дерева и металла) для деревянных автодорожных мостов

Таблица 4

Данные о затрате материалов на пролетные строения балочных мостов (по проектам Узрляпродора 1931—1932 гг.), отнесенные на 1 тег. ж пролетного строения

| № | Расчетный пролет в м | Н8                             |         |       |                |         |       |                                |         |       |                |         |       |      |      |      |      |      |       |
|---|----------------------|--------------------------------|---------|-------|----------------|---------|-------|--------------------------------|---------|-------|----------------|---------|-------|------|------|------|------|------|-------|
|   |                      | Г2                             |         |       | Г4             |         |       | Г5                             |         |       |                |         |       |      |      |      |      |      |       |
|   |                      | Дерево в деле в м <sup>3</sup> |         |       | Металл в кг    |         |       | Дерево в деле в м <sup>3</sup> |         |       | Металл в кг    |         |       |      |      |      |      |      |       |
|   |                      | просекая часть                 | прогоны | всего | просекая часть | прогоны | всего | просекая часть                 | прогоны | всего | просекая часть | прогоны | всего |      |      |      |      |      |       |
| 1 | 3,35                 | 1,56                           | 0,85    | 2,41  | 4,82           | 5,40    | 10,22 | 1,37                           | 0,67    | 2,04  | 5,28           | 4,33    | 9,61  | 1,10 | 0,55 | 1,74 | 4,70 | 2,60 | 8,96  |
| 2 | 4,00                 | 1,56                           | 0,91    | 2,47  | 4,83           | 4,59    | 9,42  | 1,37                           | 0,72    | 2,09  | 5,28           | 3,67    | 8,95  | 1,10 | 0,63 | 1,72 | 4,70 | 2,61 | 8,97  |
| 3 | 5,00                 | 1,56                           | 1,07    | 2,63  | 4,83           | 4,11    | 8,34  | 1,37                           | 0,85    | 2,22  | 5,28           | 3,29    | 8,57  | —    | —    | —    | —    | —    | —     |
| 4 | 6,50                 | 1,58                           | 1,46    | 3,04  | 5,90           | 10,49   | 16,39 | 1,38                           | 1,16    | 2,54  | 6,16           | 8,39    | 14,55 | 1,19 | 0,98 | 3,17 | 5,57 | 8,27 | 13,94 |



Таблица 7

Данные о затрате материалов на пролетные строения системы Гау, отнесенные на 1 пог. м пролетного строения

| №            | Нагрузка и габарит | Расчетный пролет в м | Дерево в деле в м <sup>3</sup> | Металл в кг | Наименование проектировавшей организации |
|--------------|--------------------|----------------------|--------------------------------|-------------|--|
| Езда поверху |                    |                      |                                |             |  |
| 1            | Н8Г4               | 21,6                 | 3,15                           | 196,1       | Укрпродор                                |
| 2            | Н8Г4               | 22,0                 | 4,10                           | 337,0       | Уралпродор                               |
| 3            | Н8Г4               | 31,15                | 4,04                           | 150,1       | Гипродор                                 |
| 4            | Н8Г4               | 41,40                | 4,33                           | 200,6       | "  |
| 5            | Н8Г2               | 21,20                | 4,73                           | 235,7       | "  |
| 6            | Н8Г2               | 21,5                 | 5,37                           | 236,2       | "  |
| 7            | Н8Г2               | 31,15                | 5,24                           | 233,25      | "  |
| 8            | Н8Г5               | 21,6                 | 2,16                           | 126,17      | Укрпродор                                |
| 9            | Н6Г4               | 21,6                 | 2,76                           | 133,81      | "  |
| 10           | Н6Г4               | 31,5                 | 3,52                           | 130,8       | Гипродор                                 |
| 11           | Н6Г4               | 41,4                 | 3,65                           | 163,0       | "  |
| Езда понизу  |                    |                      |                                |             |  |
| 1            | Н8Г4               | 21,6                 | 4,03                           | 188,0       | Укрпродор                                |
| 2            | Н8Г4               | 22,0                 | 5,21                           | 215,5       | Уралдоруч.                               |
| 3            | Н8Г4               | 31,5                 | 4,52                           | 255,0       | Ленгипродор                              |
| 4            | Н8Г4               | 41,6                 | 5,44                           | 467,2       | Ленпроектдор                             |
| 5            | Н8Г4               | 52,5                 | 4,53                           | 286,0       | Белгипродор                              |
| 6            | Н8Г2               | 21,6                 | 4,66                           | 213,7       | Укрпродор                                |
| 7            | Н8Г2               | 31,2                 | 6,20                           | 249,0       | Гипродор                                 |
| 8            | Н8Г5               | 21,6                 | 3,20                           | 125,3       | Укрпродор                                |
| 9            | Н6Г4               | 21,6                 | 3,59                           | 139,9       | "  |
| 10           | Н6Г4               | 31,5                 | 4,20                           | 160,9       | Логипродор                               |

Таблица 8

Данные о затрате материалов на опоры балочных мостов пролетами от 3.25 до 6.5 м (по проектам Укргипродора)

| № | Высота опор в м | Н8; Н6; Г2                     |             | Н8; Н6; Г4                     |             | Н8; Н6; Г5                     |             | Н4; Г5                         |             | Н2,5; Г6                       |             |
|---|-----------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|   |                 | Дерево в деле в м <sup>3</sup> | Металл в кг | Дерево в деле в м <sup>3</sup> | Металл в кг | Дерево в деле в м <sup>3</sup> | Металл в кг | Дерево в деле в м <sup>3</sup> | Металл в кг | Дерево в деле в м <sup>3</sup> | Металл в кг |
| 1 | 3,0             | 2,42                           | —           | 1,93                           | —           | 1,89                           | —           | 1,35                           | —           | 1,01                           | —           |
| 2 | 4,0             | 3,30                           | 4,98        | 2,62                           | 3,99        | 2,55                           | 3,99        | 1,90                           | 3,67        | 1,43                           | 2,75        |
| 3 | 5,0             | 3,77                           | 25,78       | 2,93                           | 20,39       | 2,92                           | 20,39       | 2,22                           | 18,97       | 2,62                           | 21,62       |
| 4 | 6,0             | 5,41                           | 35,50       | 4,46                           | 30,07       | 4,45                           | 30,07       | 3,36                           | 27,52       | 3,05                           | 21,62       |

Таблица 9

Данные о затрате материалов на деревянные опоры подкосных мостов

| №  | Пролет подкосных ферм в м | Высота опоры в м | Н8; Г2                         |             | Н8; Г4                         |             | Н6; Г4                         |             |
|----|---------------------------|------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|    |                           |                  | Дерево в деле в м <sup>3</sup> | Металл в кг | Дерево в деле в м <sup>3</sup> | Металл в кг | Дерево в деле в м <sup>3</sup> | Металл в кг |
| 1  |                           | 6,17             | 18,9                           | 237         | 16,4                           | 201         | 15,9                           | 201         |
| 2  |                           | 8,17             | 25,6                           | 301         | 21,0                           | 254         | 19,9                           | 254         |
| 3  | 12,0                      | 10,17            | 37,0                           | 431         | 30,9                           | 382         | 30,0                           | 382         |
| 4  | (13,5)                    | 12,17            | 43,2                           | 497         | 37,5                           | 441         | 35,2                           | 441         |
| 5  |                           | 14,17            | 51,3                           | 673         | 49,1                           | 499         | 40,7                           | 499         |
| 6  |                           | 16,17            | 62,0                           | 802         | 58,9                           | 693         | 51,4                           | 693         |
| 7  |                           | 6,72             | 19,8                           | 237         | 16,5                           | 201         | 17,6                           | 201         |
| 8  |                           | 8,72             | 26,6                           | 301         | 21,5                           | 254         | 21,9                           | 254         |
| 9  | 14,5                      | 10,72            | 37,0                           | 431         | 29,5                           | 382         | 29,0                           | 382         |
| 10 | (16,0)                    | 12,72            | 44,0                           | 497         | 37,5                           | 441         | 35,9                           | 441         |
| 11 |                           | 14,72            | 52,8                           | 678         | 43,0                           | 499         | 42,7                           | 499         |
| 12 |                           | 16,72            | 63,7                           | 802         | 55,2                           | 693         | 54,1                           | 693         |
| 13 |                           | 6,92             | 21,5                           | 237         | 17,7                           | 201         | 16,5                           | 201         |
| 14 |                           | 8,92             | 27,2                           | 301         | 22,5                           | 254         | 20,0                           | 254         |
| 15 | 16,5                      | 10,92            | 38,2                           | 431         | 32,1                           | 382         | 28,1                           | 382         |
| 16 | (18,0)                    | 12,92            | 47,5                           | 497         | 39,9                           | 441         | 37,3                           | 441         |
| 17 |                           | 14,92            | 54,7                           | 673         | 46,6                           | 499         | 41,2                           | 499         |
| 18 |                           | 16,92            | 69,5                           | 802         | 59,7                           | 693         | 54,3                           | 693         |

Таблица 10

Данные о затрате материалов на плоские деревянные ледорезы (по проектам Укргипродора)

| Тип ледореза | Дерево в деле<br>в м <sup>3</sup> | Металл<br>в кг |
|--------------|-----------------------------------|----------------|
| На 5 свай    | 3,16                              | 58,0           |
| » 7 »        | 3,56                              | 61,9           |
| » 9 »        | 6,40                              | 75,8           |
| » 10 »       | 8,82                              | 129,7          |

Таблица 11

Данные о затрате лесоматериала на деревянные ледорезы шпатового типа

| Глубина<br>меженных<br>вод<br>в м | Число<br>свай<br>в ледорезе | Полная<br>ширина<br>ледореза<br>в м | Затрата<br>дерева<br>в деле<br>в м <sup>3</sup> |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---|
| 1,0                               | 15                          | 2,86                                | 17,9  |
|                                   | 18                          | 3,36                                | 20,7  |
|                                   | 21                          | 3,86                                | 28,0  |
|                                   | 24                          | 3,86                                | 31,0  |
|                                   | 31                          | 3,86                                | 33,5  |
| 2,0                               | 15                          | 2,86                                | 20,6  |
|                                   | 18                          | 3,36                                | 23,6  |
|                                   | 21                          | 3,36                                | 32,2  |
|                                   | 24                          | 3,86                                | 36,3  |
|                                   | 31                          | 3,86                                | 39,4  |
| 3,0                               | 15                          | 2,86                                | 22,5  |
|                                   | 18                          | 3,36                                | 26,0  |
|                                   | 21                          | 3,36                                | 35,4  |
|                                   | 24                          | 3,86                                | 40,1  |
|                                   | 31                          | 3,86                                | 43,9  |

Продолжение табл. 11

| Глубина<br>меженных<br>вод<br>в м | Число<br>свай<br>в ледорезе | Полная<br>ширина<br>ледореза<br>в м | Затрата<br>дерева<br>в деле<br>в м <sup>3</sup> |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---|
| 4,0                               | 15                          | 2,86                                | 24,2  |
|                                   | 18                          | 3,36                                | 27,8  |
|                                   | 21                          | 3,36                                | 37,6  |
|                                   | 24                          | 3,86                                | 42,6  |
|                                   | 31                          | 3,86                                | 47,0  |

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патон Е. О., Деревянные мосты.
2. Передерий Г. П. и Гнедовский В. И., Мосты, ч. 1, «Деревянные мосты», Гострансиздат, 1925 г.
3. Митропольский И. М., Примеры проектирования деревянных мостов, вып. 1, «Деревянные мосты», Гострансиздат, 1931 г.
4. Трошихин В. М., Деревянные мосты обыкновенных дорог, Гослестехиздат, 1933 г.
5. Гестеми Т., Деревянные сооружения, Гостехиздат, 1931 г.
6. Гибшман Е. Е., Деревянные автодорожные мосты, Гострансиздат, 1935 г.
7. Уманский А. А., Наплавные мосты, Гостехиздат, 1931 г.
8. Скрябин И. Е., Примеры расчета элементов деревянных мостов, ч. 1, Гострансиздат, 1931 г.
9. Гибшман Е. Е., Альбом проектов деревянных мостов, Гострансиздат, 1934 г.
10. ЦИС НКПС, Деревянные трубы под железнодорожными насыпями, Гострансиздат, 1932 г.
11. Гипродор, Типовые проекты искусственных сооружений автогужевых дорог, Гострансиздат, 1933 г.
12. Цудортранс, Сборник типовых проектов деревянных мостов малых пролетов, ч. 1—3, Гострансиздат, 1932 г.
13. Цудортранс, Сборник типовых деревянных труб под автогужевые дороги, Цудортранс, 1933 г.
14. Цудортранс, Нормы и технические условия проектирования и постройки мостов и труб на автогужевых дорогах, Гострансиздат, 1933 г.
15. Нечаев, Постройка и эксплуатация деревянных мостов простейших типов, Гострансиздат, 1935 г.
16. Laskus, Holzerner Brücken, Berlin 1932
17. Kerstern, Freitragende Holzbauten, Berlin 1926

Инж. В. В. БОЛЬШАКОВ

### ХIII. СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛОСКОСТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРИЛОЖЕНИИ ИХ К МОСТОСТРОЕНИЮ БОЛЬШИХ ПРОЛЕТОВ

#### 1. Введение

##### 1) Период расцвета деревянного мостостроения

Деревянное мостостроение прошлого достигло своего расцвета в XVIII и первой половине XIX столетий, когда из дерева были созданы выдающиеся мостовые сооружения.

На фиг. 1 изображен деревянный арочный мост через Cascade Gleen пролетом 84 м, построенный в 1849 г. в Америке; на фиг. 2 — мост под обыкновенную дорогу пролетом 119 м через реку Лиммат близ Веттингена в Швейцарии, построенный известным специалистом мостового дела Ульрихом Грубенман. Пролет в 119 м — наибольший в мире, когда-либо перекрытый деревянным пролетным строением.

Следует еще отметить оставшийся неосуществленным проект городского деревянного арочного моста через р. Неву пролетом 300 м, составленный

механиком Академии наук Иваном Кулибиным. В 1776 г. была испытана модель этого моста в  $1/10$  натуральной величины. Присутствовавший при испытании знаменитый математик Эйлер подтвердил правильность расчетов Кулибина.

В этот же период (первая половина XIX в.) были изобретены применяемые до настоящего времени основные системы балочных деревянных мостов Тауна и Гау.

Примером применения системы Гау для перекрытия больших пролетов может служить знаменитый мост через реку Мсту на б. Николаевской ж. д., построенный в 1844 г. инж. Крутиковым. Мост имел 9 пролетов по 61 м.

##### 2) Упадок деревянного инженерного строительства

Конец XIX и начало XX веков являются периодом бурного развития металлических и железобетонных конструкций во всех областях строи-



тельства; в мостостроении больших пролетов дерево было совершенно вытеснено металлом и отчасти железобетоном.

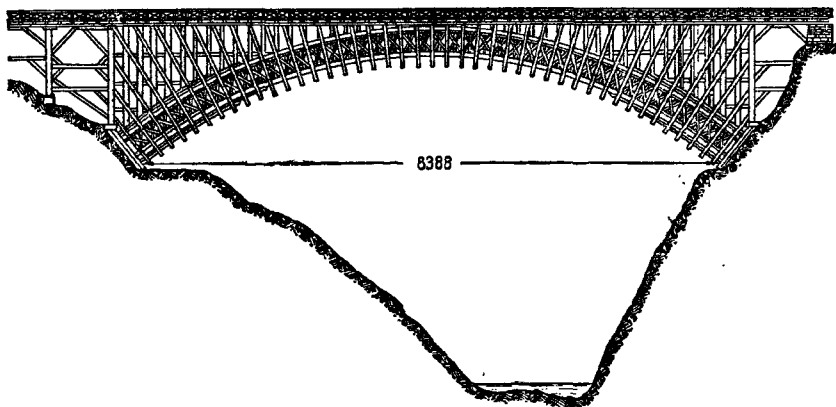
Причинами, вызвавшими потерю деревом его значения в качестве основного материала для мостов больших пролетов, были:

а) неясность статической схемы большинства старых, выработанных практикой систем (фиг. 2);

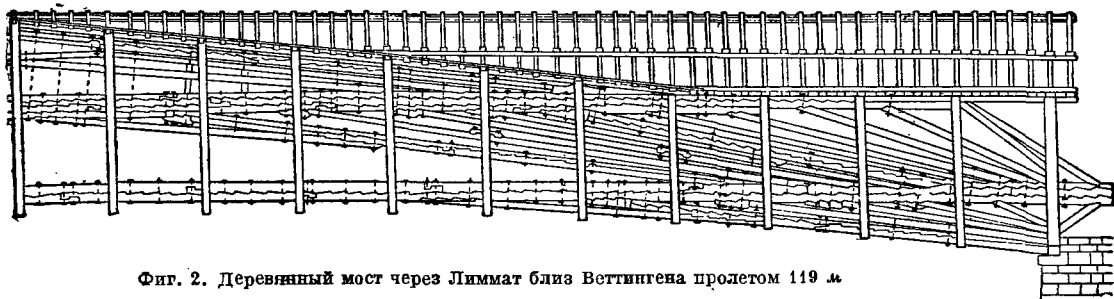
г) как следствие недостатков, отмеченных в пп. «а», «б» и «в», — большой расход материала, значительный вес деревянных конструкций и неэкономичность их;

д) малая стойкость дерева в сооружениях, не защищенных от непосредственного воздействия влаги;

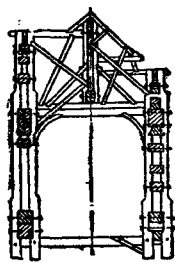
е) опасность возгорания деревянных, незащи-



Фиг. 1. Деревянный арочный мост через Cascade Glen пролетом 84 м.



Фиг. 2. Деревянный мост через Лиммат близ Веттингена пролетом 119 м.



Фиг. 3. Поперечное сечение моста к Фиг. 2



Фиг. 4. Деревянный мост системы инж. Квятковского пролетом 45 м под однупутную железную дорогу

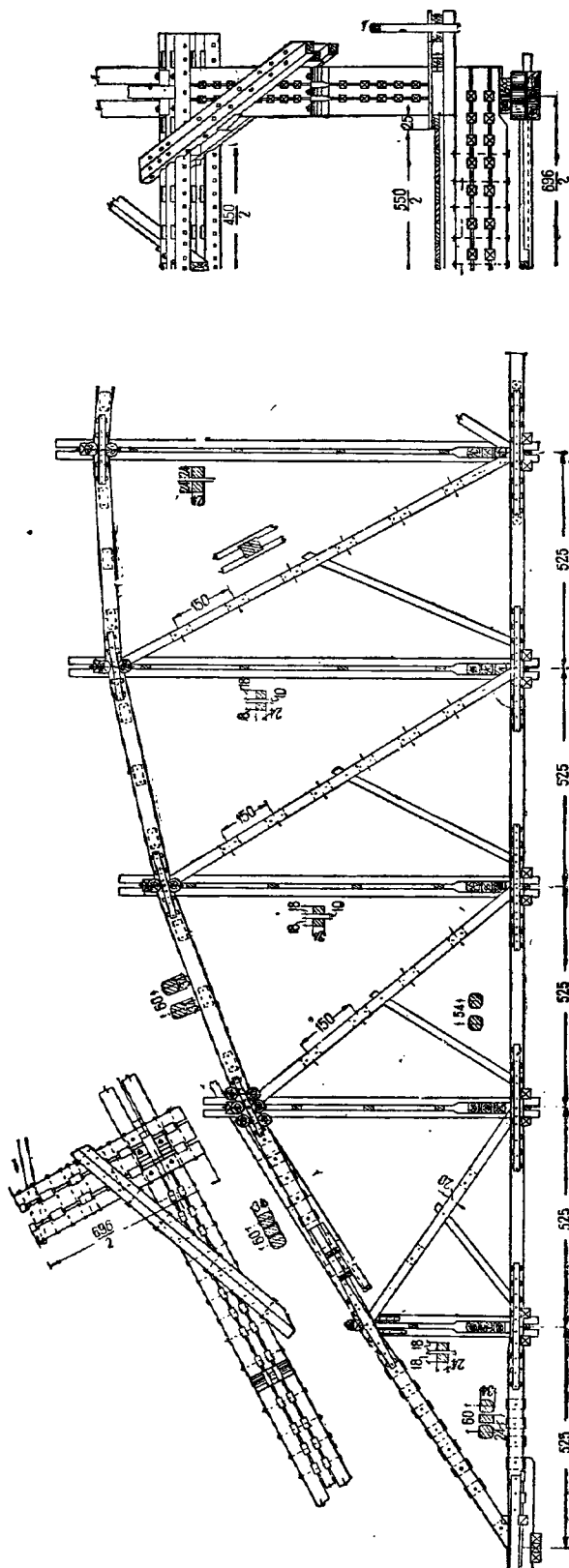
б) трудность осуществления целого ряда новых, рациональных систем ввиду несовершенства примененных сопряжений элементов деревянных конструкций;

в) кустарные способы производства работ, не допускавшие индустриализации процесса изготовления деревянных конструкций;

ценных элементов, особенно в железнодорожных мостах (от паровозных искр);

д) расстройство сопряжений от динамического воздействия значительных сосредоточенных нагрузок, особенно в мостах под железную дорогу.

Указанные причины весьма ограничили применение деревянных мостов. Из дерева строились



Чит. 5. Деревянный мост ш олеом 52 м под автогужевую дорогу по проекту Цудоргранса

лишь небольшие мосты под обыкновенную дорогу, временные мосты на вновь строящихся дорогах, мосты военного значения, т. е. сооружения, в которых не использовались ни малый объемный вес, ни высокая прочность воздушно-сухого дерева.

### 3) Возрождение инженерных деревянных конструкций в новых формах

Империалистическая война и связанное с ней громадное увеличение потребности в металле на военные нужды заставили творческую инженерную мысль, вооруженную современными достижениями науки, обратиться к отысканию новых форм для осуществления из дерева промышленных сооружений военного назначения.

### 4) Современное положение деревянного большепролетного мостостроения в СССР

В период первой пятилетки недостаток металла, расходуемого в первую очередь на машиностроение и транспорт, диктовал необходимость расширить область применения дерева и заменить им металл везде, где эта замена дает значительный экономический эффект и целесообразна с технической точки зрения, т. е. возможна без ущерба для качества сооружения.

Одной из таких областей является мостостроение больших пролетов. Запросы развивающегося городского и дорожного строительства, с одной стороны, и требования Наркомвода в отношении подмостовых габаритов — с другой, выдвинули задачу перекрытия пролетов в 50, 80, 100, 120 и даже 150 м.

За последние годы был разработан ряд проектов, имевших целью расширить пределы применения дерева в мостостроении.

Среди этих проектов отметим следующие:

1. Проект моста пролетом 45 м под однопутную железнодорожную колею системы инж. Квятковского (фиг. 4). Деревянные фермы моста имеют параллельные пояса и треугольную решетку. Узловые сопряжения выполнены на специальных вкладышах, в основу которых положен принцип гладких кольцевых шпонок (Тухшерера). Мост был осуществлен и при испытании показал вполне удовлетворительную жесткость.

2. Проект моста пролетом 52,5 м под автогужевую дорогу, разработанный Цудоргрансом. Фермы моста параболического очертания с раскосной решеткой. Узловые сопряжения законструированы на болтах и «гребенках» — металлических накладках со шпонками (фиг. 5).

3. Ряд других мостов того же пролета с полигональными фермами и узловыми сопряжениями на гвоздях; с фермами криволинейного очертания и решеткой типа Гау; с комбинированными фермами типа Лангера и др.

Анализ деревянного мостостроения показал, что при имевшихся в распоряжении конструктора типах соединения дальнейшее увеличение пролета встречает значительные, подчас непреодолимые трудности.

Кроме того не были найдены способы увеличения долговечности деревянных мостов и сохранности материала даже в пределах 40—50 лет эксплуатации моста.

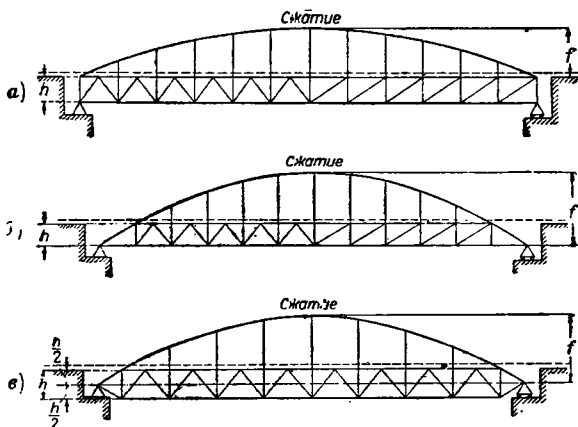
Последние работы сектора деревянных конструкций ЦНИПС и Института пути НКПС выявили совершенно новые возможности сопряжения элементов деревянных конструкций (большемерные гвозди крестового сечения, зубчато-кольцевые шпонки, пластинчатые нагели) и предохранения дерева от гниения (консервирование последующего действия).

Использование этих возможностей с применением новых рациональных систем и индустриализацией всех этапов производства позволяет считать проблему большепролетного капитального деревянного мостостроения принципиально разрешенной.

## 2. Сложные комбинированные<sup>1</sup> системы мостов больших пролетов

### 1) Характеристика

Сложные комбинированные системы представляют собой сочетание простых систем с дополнительными стержнями или другими простыми системами. Из всего многообразия сложных систем, применяемых в мостостроении, для деревянных мостов наибольшее значение имеют комбинации сплошной или сквозной балки с многос шарнирной («гибкой») аркой.

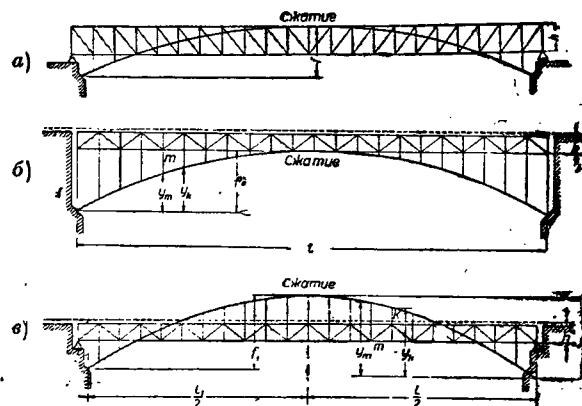


Фиг. 6. Схемы комбинированных безраспорных систем

Системы эти могут быть безраспорными, балочными, когда распор арки воспринимается жесткой балкой (фиг. 6, а, б, в), или распорными, если распор арки передается опорам (фиг. 7, а, б, в).

Применение систем, представляющих комбинацию балки с изогнутым дополнительным стержнем, работающим на растяжение — многос шарнирной цепью (фиг. 8), в чисто деревянных конструкциях ввиду трудности осуществления сопря-

жений растянутых элементов нецелесообразно и ограничивается легкими сооружениями эстакадного типа с небольшими пролетами (фиг. 9). Но и в этом случае конструкция для уменьшения количества стыков в растянутом поясе этой системы требует обычно применения длинномерного леса. Отсюда ясны те затруднения, которые вызывает применение такой системы для мостов больших пролетов.

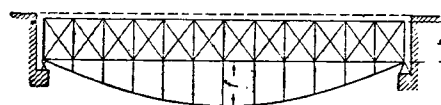


Фиг. 7. Схемы распорных комбинированных систем

Кроме того рассматриваемая система обладает еще одним существенным недостатком: наличие подпругной цепи уменьшает подмостовой габарит — в примере на фиг. 9 в месте пересечения эстакады с дорогой нижний растянутый элемент («цепь») пришлось заменить аркой.

Напротив, применение комбинированных систем с растянутым стержнем — цепью — в смешанных конструкциях висячих мостов (фиг. 10) вполне целесообразно.

В соответствии с особенностями каждого из материалов цепь выполняется из металла, а балка жесткости — из дерева. Примерами такой конструкции могут служить швейцарские мосты, изображенные на фиг. 11 и 12.



Фиг. 8. Схема комбинированной системы с растянутым дополнительным стержнем — «подпругной» цепью

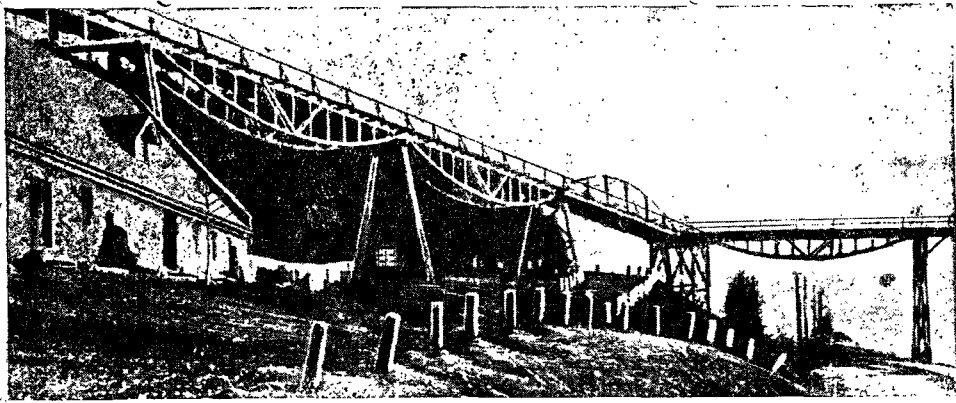
### 2) Области применения различных комбинированных систем

Области применения висячих мостов смешанной конструкции с деревянными фермами жесткости те же, что и мостов с металлическими фермами. Неоспоримое преимущество этих систем перед другими в ряде случаев (мосты над глубокими ущельями и т. п.) определяется возможностью навесной сборки с использованием для этого кабеля-цепи.

Основной областью применения комбинированных систем являются мосты больших пролетов городского типа и под автожукую дорогу.

Значительно менее целесообразно применение этих систем (ввиду меньшей жесткости их по сравнению с простыми балочными) для железнодорожных мостов, воспринимающих значительные динамические сосредоточенные нагрузки.

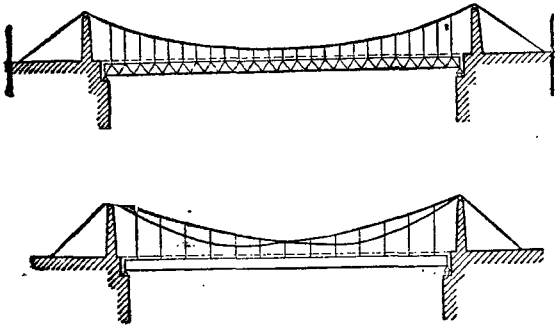
<sup>1</sup> Вопрос о целесообразности применения комбинированных систем в деревянных мостах больших пролетов впервые был выдвинут проф. Стрелецким Н. С. в 1922 г. См. ЦНИПС, «Труды мостовой подстанции», сборник № 1, «Вопросы деревянного мостостроения», изд. 1923 г.



Фиг. 9. Откаточный мост в Шмидсберге, построенный фирмой Тухшерера (в Германии)

### 3) Распорные системы

Из приведенных комбинированных систем для деревянных мостов оптимальными являются распорные системы.



Фиг. 10. Схема висячего моста

Из трех схем распорных систем, изображенных на фиг. 7, первая (ферма Бурра) широко применялась в мостостроении прошлого. На фиг. 13 представлен мост через р. Живро (в Швейцарии) пролетом 60 м, построенный по этой схеме в 1854 г.

На фиг. 14 показан другой мост той же системы в период постройки (в Америке).

Характерным отличием фермы Бурра от других схем, приведенных на фиг. 7, является наличие в ее конструкции фермы, в которую почти целиком вписывается относительно низкая арка.

Такие конструкции обладают следующими недостатками:

а) сохраняют основные недостатки простых балочных ферм в применении их к мостам больших пролетов<sup>1</sup>;

б) совместная работа арки с высокой и жесткой фермой невыгодна вследствие малой величины коэффициента ( $\gamma$ ) распределения нагрузки между аркой и балкой<sup>2</sup>.

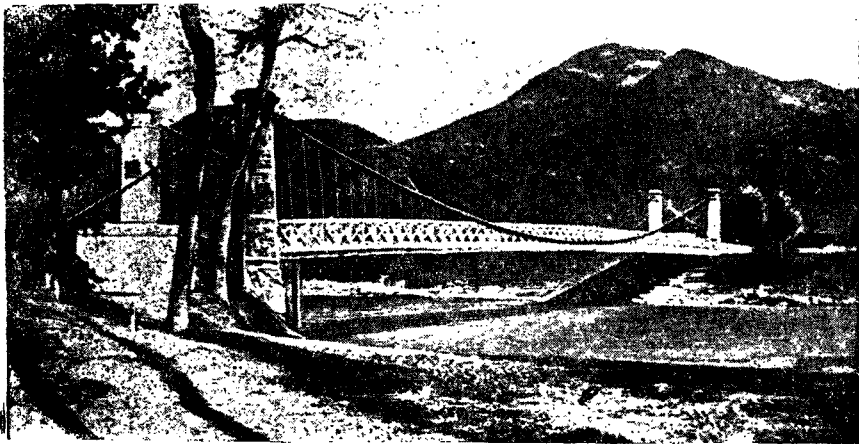
Передача на арку всей постоянной нагрузки может быть достигнута только путем искусственной подтяжки, осуществление которой в этой системе несомненно осложняет конструкцию.

Две других схемы фиг. 7, имеющие в отличие от фермы Бурра низкую ферму жесткости и высокую арку, избавлены от указанных недостатков. Применение их вполне целесообразно.

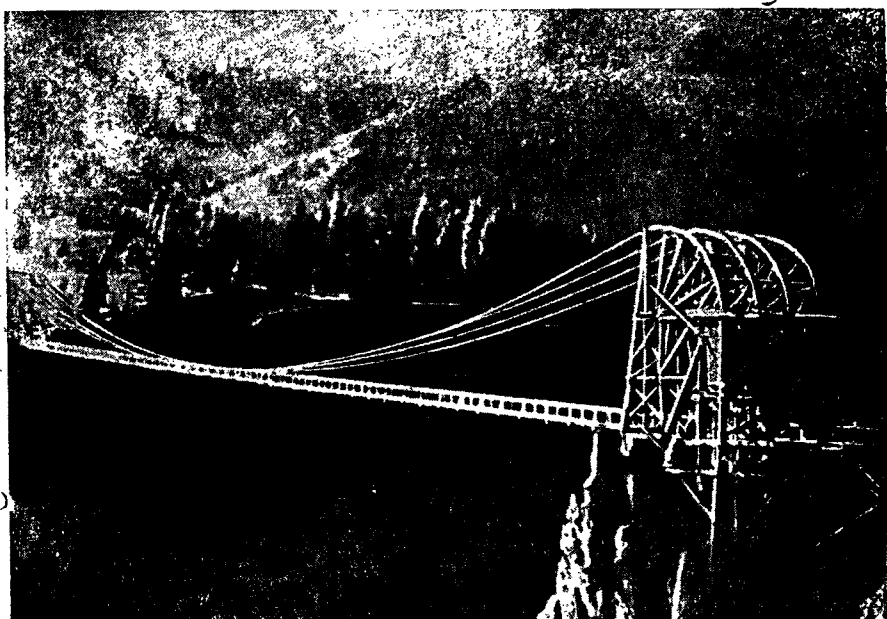
Путем надлежащего конструирования и выбора метода сборки вся постоянная нагрузка легко может быть передана на сжатую арку. Распор

<sup>1</sup> См. стр. 812.

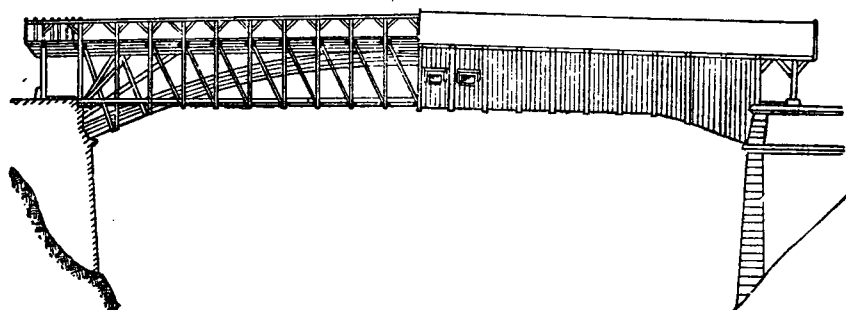
<sup>2</sup> См. стр. 810.



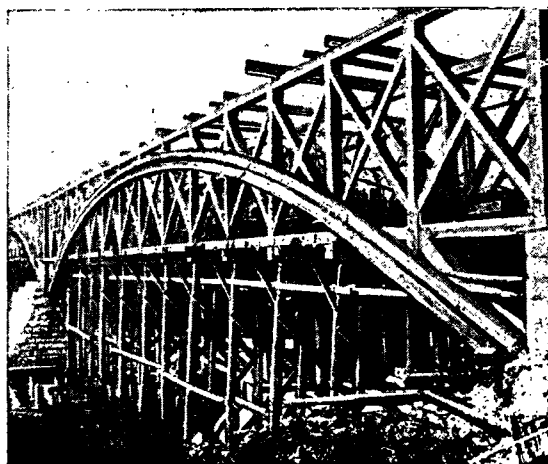
Фиг. 11. Висячий мост с фермой жесткости через р. Рону близ Колломбей; пролет 64 м; построен в 1884 г.



Фиг. 12. Висячий мост через р. Инн близ Брауля; построен в 1910 г.; пролет 168 м



Фиг. 13. Мост распорной комбинированной системы через р. Живро; пролет 60 м



Фиг. 14. Мост с фермами Бурра в Америке в период постройки

арки (наиболее нагруженный элемента системы) непосредственно воспринимается каменными или железобетонными опорами, что уменьшает возможные деформации системы при недостаточной надежности опор.

Ферма жесткости, работающая только на временную нагрузку, получается достаточно легкой.

Распорные системы менее пригодны для многопролетных мостов, так как распор требует устройства дорогих массивных промежуточных опор вместо деревянных.

Увеличение стоимости опор может оказаться значительнее экономии, получаемой от применения распорных систем для пролетных строений<sup>1</sup>.

Областями, в которых применение распорных систем представляется наиболее целесообразным и дает несомненные преимущества перед другими системами, являются:

1) однопролетные мосты отверстием 50—200 м с каменными или железобетонными устоями, особенно в горных местностях, где в зависимости от рельефа берегов могут быть применены схемы б или в фиг. 7;

2) городские мосты пролетом 100—250 м, расположенные на реках средней ширины (например р. Москва) с движением городского транспорта (трамвай, авто) в одном или двух ярусах (фиг. 30 и 31) по схеме в фиг. 7.

Здесь особенно нежелательны промежуточные опоры, сужающие русло реки и стесняющие интенсивное движение по ней судов. Однопролетный арочный мост здесь предпочтительнее также и в архитектурном отношении.

При наличии одетых камнем повышенных бережных устройств усиленных береговых опор не представляет ни технических, ни экономических трудностей; в то же время распорная схема позволяет заменить металлическое или железобетонное пролетное строение деревянным.

По сравнению с железобетонным пролетным строением, более тяжелым и требующим весьма массивных опор, деревянное представляет еще преимущества внесезонности и исключительно быстрых темпов возведения; реальный срок окончания постройки деревянного пролетного строения моста пролетом до 200 м — один зимний сезон.

#### 4) Безраспорные системы

Безраспорные системы (фиг. 6) в отношении опорных закреплений ничем не отличаются от обычных балочных ферм и представляют собой внутренне статически неопределимые (ввиду наличия третьего пояса) системы с одной неизвестной.

Восприятие распора арки фермой жесткости несколько осложняет конструкцию и делает ее в части пролетного строения менее экономичной, чем распорные системы, зато отсутствие внешнего распора позволяет использовать ее для многопролетных мостов с большими пролетами.

Из трех схем, изображенных на фиг. 6, для деревянных мостов имеют значение схемы б и в. До настоящего времени все имеющиеся проекты таких мостов осуществлялись по схеме

<sup>1</sup> Окончательное суждение в этом вопросе может быть получено лишь после сравнительной проектировки многопролетных мостов с пролетными строениями различных систем и для различных пролетов. Применение распорных систем может оказаться целесообразным в отдельных частных случаях многопролетных мостов: например в трехпролетном мосте со средним разводным пролетом, где солидная конструкция промежуточных опор обуславливается наличием разводной части.

фиг. 6, б. В этой схеме распор арки воспринимается нижним поясом фермы жесткости; верхний пояс работает преимущественно на временную нагрузку.

В арке по схеме фиг. 6, б искусственным перераспределением усилий путем замыкания верхнего пояса после передачи на арку постоянной нагрузки можно добиться работы нижнего пояса на временную и всю постоянную нагрузку, а верхнего — только на временную.

Достоинством схемы фиг. 6, б является наибольшая возможная при данной высоте стрела подъема  $f$  арки, т. е. теоретически наиболее выгодное размещение большей части материала по периметру фермы.

Недостатками этой схемы с точки зрения конструирования являются:

1) передача распора только на нижний пояс, что вызывает в нем большие растягивающие усилия и осложняет конструкцию как самого растянутого элемента, так и острого опорного узла;

2) разное сечение поясов фермы жесткости, что представляет значительные неудобства при конструировании узловых сопряжений.

Эти недостатки устраняются в схеме фиг. 6, в, где распор передается на оба пояса фермы жесткости. Если в процессе сборки системы<sup>2</sup> придать ей конструктивный строительный подъем при передаче всей постоянной нагрузки на арку, то усилие в каждом из поясов будет равно половине распора системы от постоянной нагрузки.

В результате при действии временной и постоянной нагрузок пояса работают только на растяжение, без продольного изгиба, максимальные усилия в них незначительно разнятся друг от друга<sup>3</sup> и по абсолютной величине существенно меньше чем усилие в нижнем поясе системы, выполненной по схеме фиг. 6, б.

Это облегчает конструирование растянутых поясов, позволяет их делать одинакового сечения и стандартизировать узлы.

Опорный узел фермы по схеме фиг. 6, в, выполняемый в виде трехлобовой врубки<sup>4</sup>, конструируется проще, чем фермы по схеме фиг. 6, б.

Недостатком по сравнению с системами по фиг. 6, б безраспорных систем по фиг. 6, в является уменьшение стрелки  $f$  подъема арки, вызывающее некоторое увеличение распора  $H$ .

#### 5) Генеральные размеры

Вопрос о выборе генеральных размеров больших пролетных деревянных мостов комбинированных систем в настоящее время не имеет окончательного проверенного практикой решения.

Необходима не только дальнейшая теоретическая проработка вопроса путем проектирования объектов, но и, что особенно важно, опытная проверка их на практике.

Однако на основе проведенного в СДК ЦНИПС эскизного проектирования мостов больших пролетов<sup>5</sup> и некоторой аналогии с металлическими мостами можно пока установить следующие соотношения основных размеров: для безраспорных систем (фиг. 6, б, в):

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{5,5} - \frac{1}{7}; \quad \frac{h}{l} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30};$$

<sup>2</sup> Подробнее см. стр. 813.

<sup>3</sup> В мостах больших пролетов при определенных соотношениях в размерах частей фермы.

<sup>4</sup> См. ниже проект моста пролетом 84 м.

<sup>5</sup> Описание их см. на стр. 818 и 833.

для распорных систем (фиг. 7, б, в):

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{4} - \frac{1}{7,5}; \quad \frac{h}{l} = \frac{1}{16} - \frac{1}{25};$$

для висячих (смешанные мосты) систем (фиг. 10):

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{8} - \frac{1}{10}; \quad \frac{h}{l} = \frac{1}{16} - \frac{1}{80}.$$

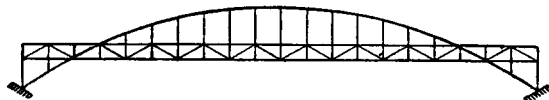
Выбор генеральных размеров в каждом отдельном случае зависит от пролета, характера временной нагрузки, требуемой жесткости и т. п. и должен производиться на основании ряда предварительных ориентировочных подсчетов.

При значительной временной нагрузке относительную высоту балки жесткости следует брать больше; с увеличением пролета влияние временной нагрузки уменьшается, что позволяет уменьшить значение  $\frac{h}{l}$ .

Во всех случаях должна быть обеспечена достаточная жесткость пролетного строения. Наибольший упругий прогиб от невыгоднейшего нагружения временной нагрузкой, который имеет место около  $\frac{1}{4}$  пролета, не следует допускать больше  $\frac{1}{750} l^1$ .

### 6) Методы расчета комбинированных систем

Рассмотренные выше комбинированные системы являются статически неопределимыми системами<sup>2</sup> с одной лишней неизвестной. Расчет их производится по соответствующим методам строительной механики<sup>3</sup>. За лишнюю неизвестную лучше



Фиг. 15. Дважды статически неопределимая распорная комбинированная система

всего принимать горизонтальную проекцию усилия  $H$  (распор) в арке (или цепи). Определение усилий в стержнях производится при помощи линий влияния. Принципы расчета состоят в следующем:

#### а) Точный метод

Для определения усилий в отдельных стержнях системы при данной нагрузке прежде всего необходимо найти величину неизвестной  $H$ .

Величина  $H$  в общем случае может быть определена при помощи основной теоремы Мора.

В качестве примера рассмотрим распорную комбинированную систему, нагруженную силой  $P$  (фиг. 16, а).

<sup>1</sup> Определение прогиба комбинированных систем — см. книгу «Методы расчета».

<sup>2</sup> В отношении схемы фиг. 7, в это утверждение верно, если в местах пересечения арки с фермой жесткости распор не передается на ферму жесткости и соединение узлов арки с фермой осуществляется вертикальными подвесками-распорками. При наличии общих узлов в месте пересечения (как например в схеме фиг. 15) такая система будет дважды статически неопределима, а конструкция по схеме фиг. 7, а — четырехжды статически неопределима.

<sup>3</sup> Подробнее см. Промстройпроект, «Справочник проектировщика», т. II, Филоненко-Бородич М. М., Основы теории работы упругих сил, Гостехиздат, 1932 г., Тимошенко С. П., Статика сооружений, ч. 1, изд. 1931 г.

По теореме Мора при одинаковом модуле упругости всех стержней:

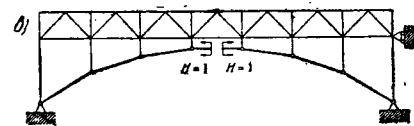
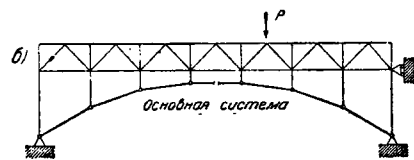
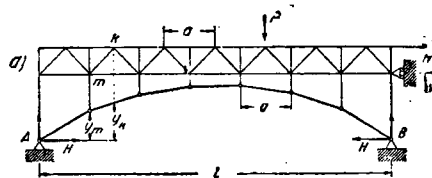
$$H = - \frac{\sum \frac{N_n \bar{N}_n l_n}{F_n}}{\sum \frac{N_n^2 l_n}{F_n}}; \quad (1)$$

где  $H$  — горизонтальная проекция усилия в арке (распор);

$N_n$  — усилие в некотором стержне основной системы (фиг. 16, б) от действия груза  $P$ ;

$\bar{N}_n$  — усилие в том же элементе от двух сил  $H = 1$  (фиг. 16, в)<sup>4</sup>;

$l_n$  и  $F_n$  — длина и соответствующая площадь поперечного сечения элемента  $n$ . Знак  $\Sigma$  в числителе и знаменателе ф-лы (1) распространяется на все элементы системы.



Фиг. 16. Схемы к расчету распорной комбинированной системы

Усилия  $N_n$  и  $\bar{N}_n$  легко могут быть найдены обычными способами (аналитически или построением диаграммы Кремоны).

Полагая силу  $P = 1$  и определяя значения  $H$  при положении этой силы последовательно во всех промежуточных узлах фермы, получим ординаты линии влияния  $H$  под этими узлами.

Как видно из ф-лы (1), для определения  $H$  необходимо предварительно задаться сечениями элементов фермы. При вычислениях удобнее брать не абсолютные значения площадей  $F_n$ , а их отношение к некоторой площади  $F_0$ , за которую лучше всего принять площадь одного из основных элементов (например пояса фермы жесткости).

После определения усилий в элементах системы на основе найденного значения  $H$  необходимо произвести окончательный подбор сечений всех элементов и повторить расчет снова, приняв исправленные величины  $F_n$ .

Обычно этот последний расчет является окончательным, достаточным для разработки рабочего проекта.

<sup>4</sup> Разрез через арку проведен в середине пролета; для ясности чертежа каждая из сил  $H = 1$  обозначена в виде двух сил, симметричных относительно сечения арки.

Для нахождения ординат линии влияния  $H$  более удобный метод ее построения как упругой линии прогиба основной системы от нагрузки силами  $H = 1$ . Рассмотрим этот метод на примере безраспорной комбинированной системы, имеющей арку параболического очертания (фиг. 17). Уравнение линии влияния  $H$  может быть представлено в виде:

$$y = \frac{\delta_{pm}}{\delta_{nn}} \tag{2}$$

где  $\delta_{pm}$  — ордината прогиба рассматриваемого узла основной системы от действия двух сил  $H = -1$  (фиг. 17, б);

$\delta_{nn} = \sum \frac{N_n^2 l_n}{EF_n}$  — перемещение по направлению  $H$  в месте разреза арки (в ключе) от действия тех же двух сил  $H = -1$ .

Жесткости с параллельными поясами это приближение, сильно упрощая расчет, дает достаточно точное значение  $H$ .

Упругие грузы в узлах  $k$  и  $m$  верхнего и нижнего поясов выразятся в этом случае величинами:

$$w_k = \frac{\Delta U_k}{h} = \frac{1 \cdot y_k^2 k}{h^2 EF_k} = \frac{y_k^2}{h^2 EF_k}; \tag{3}$$

$$w_m = -\frac{\Delta O_m}{h} = \frac{1 \cdot y_m^2 m}{h^2 EF_m} = \frac{y_m^2}{h^2 EF_m}, \tag{3'}$$

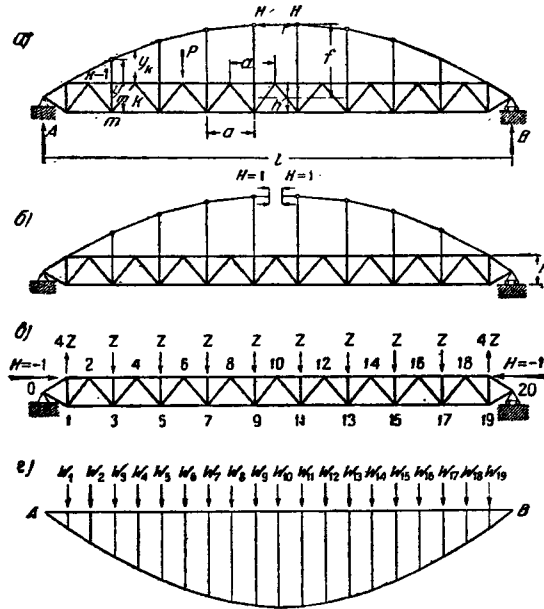
где  $a$  — длина панели;

$F_k$  и  $F_m$  — сечения элементов нижнего и верхнего поясов, расположенных против узлов  $m$  и  $k$ .

Остальные обозначения — по фиг. 17, а<sup>2</sup>.

Обычно выражения упругих грузов (3) и (3') умножают на величину  $EF_c$ , где  $F_c$  — некоторая произвольная площадь. При постоянном и одинаковом сечении поясов можно принять:

$$F_c = F_k = F_m,$$



Основная система под действием сил  $H = -1$

Фиг. 17. Схемы к расчету безраспорной системы

Воздействие силы  $H = -1$  на ферму жесткости сводится к ее нагрузке силами  $Z$ , представляющими усилия в подвесках, двумя горизонтальными сжимающими силами  $H = -1$ , приложенными в местах сопряжения арки с фермой жесткости, и двумя вертикальными силами  $4Z$  в этих же узлах (фиг. 17, в).

Линию влияния распора  $H$  можно построить как линию прогиба основной системы от действия сил  $H = -1$  при помощи диаграммы Виллиса, по способу шарнирного многоугольника или же методом упругих (фиктивных) грузов<sup>2</sup>.

### б) Упрощенный расчет

При первоначальном определении  $H$  можно пренебречь деформациями решетки. В случае фермы

тогда:

$$EF_c \cdot w_k = \frac{y_k^2}{h^2} \tag{4}$$

$$EF_c \cdot w_m = \frac{y_m^2}{h^2}. \tag{4'}$$

Рассматривая пролет  $l$  как балку на двух опорах, нагруженную грузами  $w_k$  и  $w_m$ , умноженными на  $EF_c$ , найдем линию прогибов нижнего пояса как эпюру изгибающих моментов этой балки (фиг. 17, в) с ординатами, увеличенными в  $EF_c$  раз.

Разделив их на величину

$$EF_c \delta_{nn} = \sum \frac{N_n^2 l_n}{EF_n} EF_c,$$

получим линию влияния  $H$ .

При одинаковом модуле упругости  $E_n$  всех стержней системы:

$$EF_c \delta_{nn} = \sum \bar{N}_n^2 l_n \frac{F_c}{F_n}. \tag{5}$$

<sup>1</sup> См. т. II справочника.  
<sup>2</sup> Том II справочника, стр. 322. Прокофьев Я. П., Теория сооружений, т. I, вып. II, Мюллер-Бреслау, Графическая статика, т. II, ч. 1, изд. 1910 г., ТимOSHENKO С. П., Курс статки сооружений, т. 1, изд. 1931 г.

<sup>3</sup> Для распорных систем мы будем иметь аналогичные выражения упругих грузов, см. фиг. 16, а, б, в.



От действия сил  $H = 1$  усилие в элементе  $m$  арки (фиг. 18):

$$S_m = \frac{H}{\cos \alpha_m} = \frac{1}{\cos \alpha_m}, \quad (6)$$

Усилие в подвеске  $m$ :

$$\bar{Z}_m = H (\operatorname{tg} \alpha_m - \operatorname{tg} \alpha_{m+1}) = \operatorname{tg} \alpha_m - \operatorname{tg} \alpha_{m+1}. \quad (7)$$

Полагая, что площадь элементов арки  $F_{am}$  меняется пропорционально усилию в арке

$$F_{am} = \frac{F_a}{\cos \alpha_m},$$

где  $F_a$  — площадь среднего горизонтального элемента арки, и что сечение подвесок постоянно  $F_{vm} = F_v$ , а длина их  $z_m$ , получим:

$$EF_c \delta_{nm} = \sum \bar{N}_n l_n \frac{F_c}{F_n} + \sum \frac{a}{\cos^2 \alpha_m} \cdot \frac{F_c}{F_a} + \sum z_m (\operatorname{tg} \alpha_m - \operatorname{tg} \alpha_{m+1})^2 \frac{F_c}{F_v}, \quad (8)$$

где  $\bar{N}_n$  и  $l_n$  — усилия от сил  $H = 1$  и соответственно длины элементов фермы жесткости.

При одинаковом сечении поясов фермы жесткости и параболическом очертании арки, пренебрегая деформацией решетки фермы жесткости и подвесок и упрощая выражение (8), получим:

$$EF_c \delta_{nm} = \sum \frac{v_n^2 a}{h^2} + \sum \frac{v_k^2 a}{h^2} + l_1 \frac{F_c}{F_a}; \quad (9)$$

все обозначения — принятые выше;  $l_1$  — горизонтальное расстояние между точками прикрепления арки в ферме жесткости<sup>1</sup>.

Если ферма жесткости заменена сплошной балкой, то

$$\delta_{nm} = \int_0^l \frac{M_n^2 dx}{EI} + \sum \frac{a}{\cos^2 \alpha_m EF_k} + \sum \frac{z_m (\operatorname{tg} \alpha_m - \operatorname{tg} \alpha_{m+1})}{EF_v}. \quad (10)$$

Изгибающий момент  $M_n$  в сечении  $x$  балки жесткости от действия сил  $H = 1$  выражается величиной (фиг. 19):

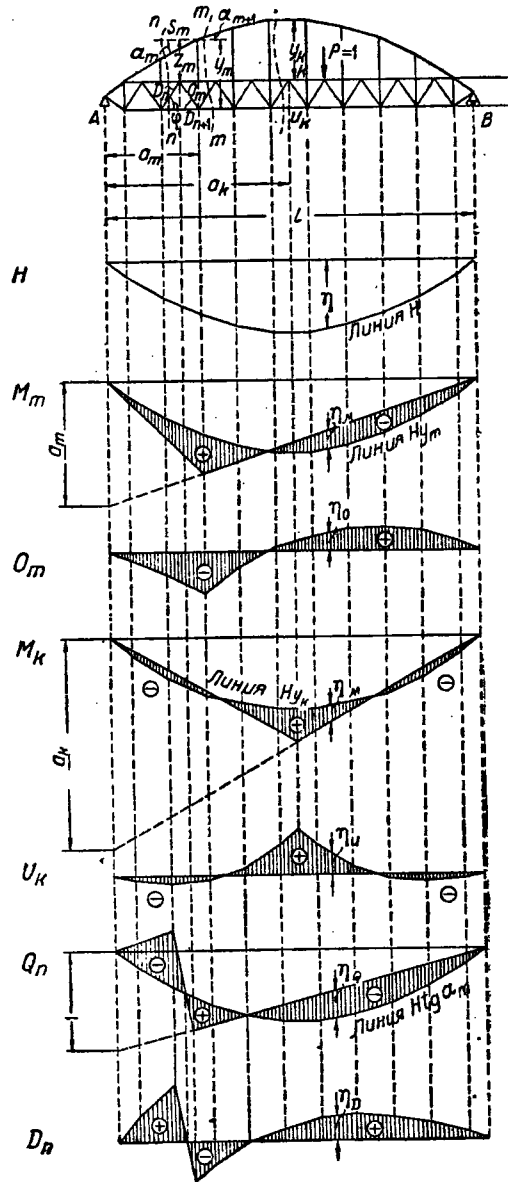
$$M_n = 1y;$$

<sup>1</sup> Для удобства подсчетов при одинаковой длине нелей  $l$  можно умножить как выражения упругих грузов (4) и (4'), так и  $\delta_{nm}$  на величину  $\frac{l^2}{a}$ ; тогда формулы примут вид:

$$EF_c \frac{h^2}{a} v_k = v_k; \quad EF_c \frac{h^2}{a} v_m = v_m; \\ EF_c \frac{h^2}{a} \delta_{nm} = \sum v_m^2 + \sum v_k^2 + l_1 \frac{h^2}{a} \frac{F_c}{F_a}.$$

Подробнее см. указанный выше труд Мюллера-Бреслау.

$$\int_0^l \frac{M_n^2 dx}{EI} = \int_0^l \frac{y^2 dx}{EI} = \frac{1}{EI} \int_0^l y^2 dx. \quad (11)$$



$$\eta_s = \frac{\eta}{\cos \alpha_m} \\ \eta_s = \eta (\operatorname{tg} \alpha_m - \operatorname{tg} \alpha_{m+1}) \\ \eta_m = \eta_m^0 - \eta \cdot v_m \\ O_m = -\frac{M_m}{h} \\ \eta_o = -\eta \frac{\eta_m}{h} \\ \eta_k = \eta_k^0 - \eta v_k \\ U = \frac{M}{h} \\ \eta_u = \frac{v_k}{h} \\ \eta_Q = \eta_Q^0 - \eta \cdot \operatorname{tg} \alpha \\ D_n = -\frac{Q_n}{\sin \varphi} \\ \eta_D = -\frac{\eta_Q}{\sin \varphi}$$

Фиг. 18. Линии влияния безраспорной комбинированной системы

При параболическом очертании арки:

$$y = \frac{4f}{l^2} x(l-x)$$

и

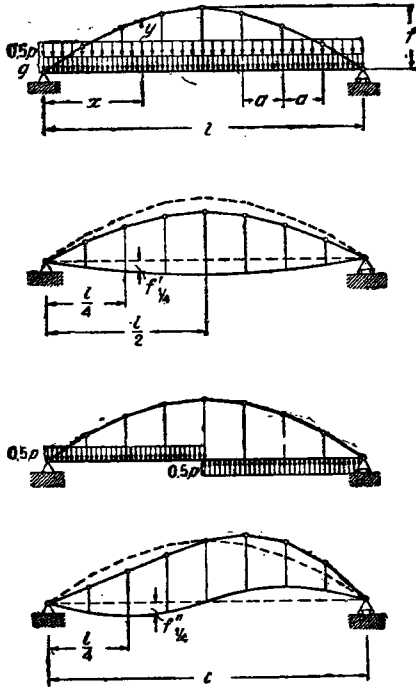
$$\int_0^l \frac{M_n^2 dx}{EI} = \frac{1}{EI} \int_0^l y^2 dx = \frac{8f^3}{15EI}. \quad (12)$$

В общем случае интеграл может быть прибли-

женно заменен суммой и вычислен по правилу Симпсона:

$$\int_0^l \frac{M_n^2 dx}{EI} = \sum y^2 \frac{\Delta x}{EI} \quad (13)$$

где  $\Delta x$  можно принять равным длине панели  $a$  (фиг. 19).



Фиг. 19. Деформация безраспорной комбинированной системы

Построив линию влияния  $H$ , легко найдем линии влияния остальных элементов (фиг. 18). Согласно ф-лам (6) и (7) ординаты линии влияния элемента  $m$  получаются умножением ординат линии  $H$  на  $\frac{1}{\cos \alpha_m}$  для элементов арки и на  $\text{tg } \alpha_m - \text{tg } \alpha_{m+1}$  для элементов подвески.

Ординаты  $\eta_n$  параболической линии влияния  $H$

Таблица 1

| $x =$    | 0,05    | 0,10    | 0,15    | 0,20   | 0,25    | 0,30   | 0,35    | 0,40   | 0,45    | 0,50   | Множитель $l$                  |
|----------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|--------------------------------|
| $\eta =$ | 0,03563 | 0,06750 | 0,09563 | 0,1200 | 0,14063 | 0,1575 | 0,17063 | 0,1800 | 0,18563 | 0,1875 | Множитель $\frac{l}{f} \gamma$ |

Примечание. Другая половина линии влияния симметрична.

Изгибающие моменты в узлах  $m$  и  $k$  поясов фермы жесткости определяются по формулам:

$$M_m = M_m^0 - Hy_m; \quad (14)$$

$$M_k = M_k^0 - Hy_k; \quad (14')$$

где  $M_m^0$  и  $M_k^0$  — моменты простой балки на двух опорах  $A$  и  $B$  (фиг. 18).

Усилия в элементах поясов: верхнего пояса:

$$O_m = -\frac{M_m}{h} \quad (15)$$

нижнего пояса:

$$U_k = \frac{M_k}{h}. \quad (15')$$

Поперечная сила в любом сечении системы:

$$Q = Q_n^0 - H \text{tg } \alpha_m. \quad (16)$$

где  $Q_n$  — поперечная сила в сечении  $n$  —  $n$  простой балки на двух опорах  $A$  и  $B$  (фиг. 18).

Ординаты линий влияния усилий в восходящем раскосе вычисляются по формуле:

$$D_n = -\frac{Q}{\sin \varphi}; \quad (17)$$

в нисходящем раскосе знак в ф-ле (17) нужно изменить на обратный.

в) Приближенные формулы

Рассматривая линию влияния  $H$  как непрерывную кривую, можно приближенно заменить ее параболой со стрелкой:

$$z = \frac{21}{16f} \gamma. \quad (18)$$

В этой формуле  $\gamma$  — коэффициент распределения нагрузки между аркой и балкой, определяемый по формулам:

1) для распорных систем (фиг. 7, 6, e):

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{15}{16} \cdot \frac{h^2}{f^2} \cdot \frac{s_0}{l} \cdot \frac{F_c}{F_a}}. \quad (19)$$

где  $F_c$  — сечение пояса (см. выше);  $F_a$  — сечение арки в ключе

$$s_0 = l_1 \left( 1 + \frac{16}{3} \cdot \frac{f_1^2}{l^2} \right);$$

для схемы фиг. 7, 6

$$f_1 = f; \quad l_1 = l;$$

2) для безраспорных систем (фиг. 6, б, e):

а) для схемы фиг. 6, e опоры расположены на половине высоты фермы жесткости; сечения поясов фермы жесткости равны ( $F_c = F_n = F_e$ ).

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{15}{16} \cdot \frac{h^2}{f^2} \left[ 0,5 + \left( 1 + \frac{16}{3} \cdot \frac{f^2}{l^2} \right) \frac{F_c}{F_a} \right]}; \quad (20)$$

б) для схемы фиг. 6, б сечения поясов фермы жесткости различны:

$$\gamma = \frac{f \left( \frac{F_n}{F_c} + 1 \right) - 1,25h}{f \left( \frac{F_n}{F_c} + 1 \right) - 2,5h + \frac{15}{8} \cdot \frac{h^2}{f} \left[ 1 + \left( 1 + \frac{16}{3} \cdot \frac{f^2}{l^2} \right) \frac{F_n}{F_a} \right]}. \quad (21)$$

В ф-лах (19), (20) и (21) обозначения прежние.

Ординаты  $\eta_n$  параболической линии влияния  $H$  по ф-ле (18) приведены в табл. 1.

Площадь линии влияния распора  $H$ :

$$\omega = \frac{l^2}{8f} \gamma;$$

при полном нагружении всего пролета равномерно распределенной (например постоянной) нагрузкой:

$$H = \frac{gl^2}{8f} \gamma. \quad (22)$$

Имея линию влияния  $H$ , легко построить на основании предыдущего все остальные линии влияния.

Для предварительной проверки принятых сечений элементов фермы жесткости следует построить линии влияния для момента в четверти и половине пролета, для поперечной силы — у опор, в четверти и половине.

Для предварительного подбора сечений арки и поясов можно приближенно принять <sup>1</sup>:

а) распор от загрузки всего пролета постоянной нагрузкой  $g$  и временной  $p$ :

$$H_{\max} = \frac{(g+p)l^2}{8f}; \quad (23)$$

б) изгибающий момент в четверти пролета от загрузки половины пролета временной нагрузкой:

$$M_{1/4}^{\max} = \frac{pl^2}{64}; \quad (24)$$

в) усилия в поясах фермы жесткости: в распорных системах:

$$U = 0 = \pm \frac{pl^2}{64h}; \quad (25)$$

в безраспорных системах: по схеме фиг. 6, е:

$$U = 0 = \frac{(g+0,5p)l^2}{16f} \pm \frac{pl^2}{64h}; \quad (26)$$

по схеме фиг. 6, б:

$$U = \frac{(g+0,5p)l^2}{8f} \pm \frac{pl^2}{64h}; \quad (27)$$

$$O = \pm \frac{pl^2}{64h}. \quad (28)$$

### 7) Прогиб комбинированных систем

Определение упругого прогиба  $f_k$  узла  $k$  фермы жесткости от данной нагрузки производится (по теореме Мора) по формуле:

$$f_k = \sum \frac{\bar{N}_n N_n l_n}{EF_n}, \quad (29)$$

где  $\bar{N}_n$  — усилие в элементе  $n$  основной системы (см. выше) от груза  $P = 1$ , приложенного в узле по направлению искомого перемещения;

$N_n$  — усилие в том же элементе от действия на комбинированную систему данной нагрузки.

Для определения максимального прогиба узла  $k$  должны быть известны участки загрузки пролета временной нагрузкой.

В противном случае необходимо построить линию влияния прогиба узла  $k$ .

Построение это выполняется на основании следующего.

Прикладывая вертикальный груз  $P = 1$  в узле  $k$  арочной фермы, найдем усилия в стержнях фермы жесткости и соответствующие им

выражения упругих грузов. Построив эпюру моментов от этой фиктивной нагрузки, получим линию прогиба системы, вызываемого действием силы  $P = 1$ . На основании принципа взаимности перемещений эта линия будет являться линией влияния перемещения  $\delta_k$ .

Наибольший упругий прогиб середины арочной фермы приближенно получим как прогиб фермы жесткости от ее загрузки той долей нагрузки, которая на нее приходится:

$$f_{1/2}^{\max} = \frac{5ql^4}{384EI} (1-\gamma). \quad (32)$$

Момент инерции приближенно может быть принят:

$$I = \frac{Fh^2}{2}.$$

Прогиб в четверти пролета имеет наибольшее значение при нагружении половины пролета временной нагрузкой (фиг. 19) и складается (по методу Андро) из следующих величин:

а) прогиба фермы жесткости от нагрузок  $g + \frac{p}{2}$ ;

$$\begin{aligned} f'_{1/4} &= \frac{3}{4} f'_{1/2} = \\ &= \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{384} (g+0,5p) \frac{l^4 (1-\gamma)}{EI}; \end{aligned} \quad (34)$$

б) прогиба полупролета  $l_1 = \frac{l}{2}$  под нагрузкой  $P_1 = \frac{p}{2}$ :

$$\begin{aligned} f''_{1/4} &= \pm \frac{5}{384} \cdot \frac{pl_1^4}{EI} = \pm \frac{1}{32} \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{pl^4}{EI} = \\ &= \pm \frac{1}{32} \cdot \frac{f'_{1/2}}{(1-\gamma)}. \end{aligned} \quad (35)$$

Полный прогиб в четверти пролета:

$$\begin{aligned} f_{1/4} &= f'_{1/4} + f''_{1/4} = \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{EI} \left[ \frac{3}{4} g(1-\gamma) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{3}{8} p(1-\gamma) + \frac{1}{32} p \right]. \end{aligned} \quad (36)$$

Амплитуда колебаний точки в четверти пролета:

$$\alpha_{1/4} = \frac{f'_{1/2}}{16(1-\gamma)} = \frac{5}{6144} \cdot \frac{pl^4}{EI}. \quad (38)$$

Кроме прогиба  $f_{упр}$  от деформации элементов системы мы будем иметь в ней прогиб  $f_{сде}$ , вызванный деформациями стыков и узловых сопряжений. Этот последний будет складываться из прогиба от рыхлых деформаций, вызванных неточностью пригонки отдельных частей и остаточными деформациями соединений и прогиба от упругих деформаций соединений.

Деформации ( $f_{сде}$ ) вызовут в статически неопределимой комбинированной системе кроме добавочного прогиба некоторое перераспределение усилий в стержнях.

Точное определение этих изменившихся усилий представляется затруднительным, так как, с одной стороны, величина рыхлых деформаций в сопряжениях весьма сильно зависит от качества изготовления и сборки конструкции, а с другой, — закон изменения и величины упругих деформаций различного вида связей в зависимости от нагрузки недостаточно изучены.

Однако, полагая приближенно, что сопряжения равнопрочны элементам и что деформации в сопряжениях при нагружении поясов фермы жест-

<sup>1</sup> Это приближение достаточно верно при значении  $\gamma \geq 0,90$  и в тех случаях, когда вся постоянная нагрузка  $g$  передается на арку, что может быть достигнуто путем искусственного перераспределения усилий (см. ниже).

кости (или арки) до среднего напряжения  $80 \text{ кг/см}^2$  равны ориентировочным значениям  $\Delta$  деформаций, приведенным для сопряжений различного типа в ТУ и Н, можно приближенно определить расчетную величину сечения поясов фермы жесткости (или арки) по формуле:

$$F_{\text{расч}} = \frac{F}{1 + \frac{\Sigma \Delta}{0,0008l}} \quad (39)$$

где  $\Sigma \Delta$  — сумма деформаций в соединениях на всей длине пояса (или арки);

$l$  — длина пояса (или арки).

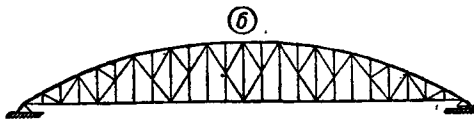
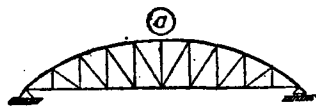
Вычисленными таким образом приведенными сечениями поясов (и арки) можно пользоваться при определении коэффициента  $\gamma$  распределения нагрузки между поясами фермы и аркой и при исчислении прогибов системы.

### 3. Основные предпосылки для применения сложных комбинированных систем в деревянных конструкциях больших пролетов

#### 1) Криволинейность верхнего пояса

Целесообразность применения описанных комбинированных систем обусловливается и подтверждается следующими соображениями.

При увеличении пролетов деревянных балочных ферм с параллельными поясами до 40—50 м усилия в решетке настолько возрастают, что конструирование узлов при существующих типах соединений встречает непреодолимые трудности.



Фиг. 20. Схемы балочных ферм с криволинейным очертанием верхнего пояса

Вместе с тем сама решетка получается весьма массивной; при большой высоте фермы (7—8 м) элементы решетки требуют устройства стыков и вся ферма получается тяжелой и неэкономичной.

Весьма показательны в этом отношении распространенные у нас фермы Гау. Однако и для других систем с параллельными поясами (на кольцах Тухшерера, Тауна) указанные пролеты являются, по видимому, предельными и требуют перехода к фермам с криволинейным очертанием верхнего пояса (по квадратной параболе, кругу и т. д.). В таких фермах постоянная нагрузка целиком воспринимается поясами, усилия в решетке уменьшаются, решетка получается более легкой и облегчается конструирование узловых сопряжений. В зависимости от пролета решетка фермы может быть простой раскосной или (при больших панелях) треугольной со шпренгелями (фиг. 20, а, б). Примерами применения ферм указанного типа являются: мост под автогужевую дорогу в Сиаме с тремя пролетами по 60 м (фиг. 21 и 22), а также упомянутый выше проект моста, выполненный Цудортрансом (фиг. 5).

Деревянные фермы с криволинейным верхним поясом, так называемые «сегментные», пролетом до 36 м за последние годы широко применялись в СССР в гражданском и промышленном строительстве и зарекомендовали себя как весьма экономичная и целесообразная конструкция.

Объясняется это соответствием этой системы специфическим особенностям материала. Дерево эффективнее всего используется в работе на сжатие; стыки сжатых элементов осуществляются наиболее просто лобовым упором в торец. При параболическом очертании фермы вся постоянная нагрузка передается на верхний сжатый и нижний растянутый пояса.

В мостах больших пролетов постоянная нагрузка получает преобладающее значение, что позволяет сконцентрировать материал в мощном сжатом верхнем поясе и использовать его таким образом наиболее выгодно.

Одновременно хорошо используется еще одно положительное свойство дерева — его большая удельная крепость при продольном изгибе  $\frac{EI}{\gamma}$  где  $\gamma$  — объемный вес дерева.

Однако, несмотря на перечисленные ценные качества, рассматриваемые фермы в применении к большим пролетам (в особенности при дальнейшем увеличении последних) не избавлены от ряда недостатков:

а) Вследствие криволинейного очертания верхнего пояса длина элементов решетки и угол их наклона меняются весьма значительно, что исключает стандартность размеров элементов и узловых сопряжений; конструирование некоторых из них осложняется острым углом примыкания раскосов к поясам.

б) При увеличении пролета и необходимости сохранить длину панели в определенных пределах (из условия конструирования проезжей части) угол наклона раскосов выходит за пределы

оптимального. Чтобы сохранить нормальный наклон раскосов, приходится прибегать к устройству шпренгелей, осложняющих конструирование решетки.

в) С возрастанием высоты фермы (например при  $l = 84 \text{ м}$  и  $\frac{h}{l} = \frac{1}{7}$ ;  $h = 12 \text{ м}$ ) длина элементов решетки весьма возрастает и требует устройства стыков; одновременно увеличивается гибкость стержней. При большой длине раскосов и наибольших сравнительно усилиях в них сильно снижается коэффициент использования сечения сжатых раскосов вследствие необходимости обеспечить их устойчивость на продольный изгиб, в результате чего решетка, несмотря на ее теоретическую легкость, получается громоздкой.

Комбинированные фермы являются той системой, которая обладает всеми преимуществами ферм с криволинейным верхним поясом и в то же время избавлена от указанных недостатков.

Аналогично простым фермам с криволинейным верхним поясом комбинированные фермы имеют мощный сжатый стержень — гибкую арку, воспринимающий всю или большую часть постоянной нагрузки (в зависимости от системы и метода сборки).

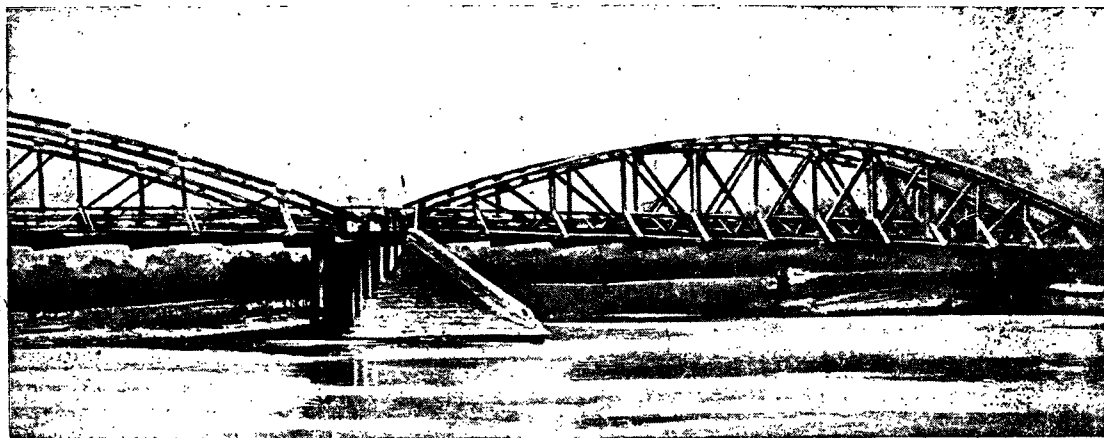
#### 2) Простота конструкции

Взамен решетки, заполняющей всю плоскость, ограниченную контуром фермы, комбинирован-

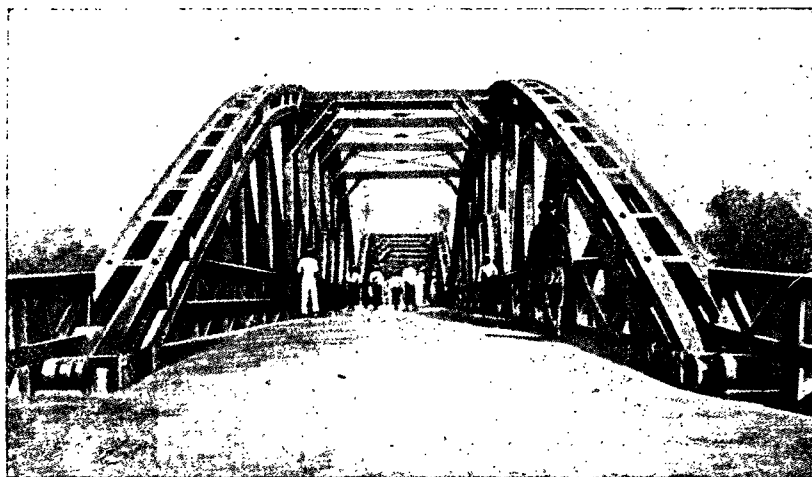
ные фермы имеют средний пояс, подвески и решетку, заключенные между параллельными поясами фермы жесткости. Невысокая ферма жесткости с параллельными поясами работает преимущественно на временную одностороннюю нагрузку. Это позволяет:

а) при небольшой длине элементов решетки выполнить их без стыков, стандартизировать их длину и повысить коэффициент использования сечения при продольном изгибе<sup>1</sup>;

Это естественное распределение усилий, зависящее от соотношения геометрических размеров системы и сечения отдельных ее элементов, может быть частично изменено искусственным путем. Указанное перераспределение усилий имеет своей целью создать наивыгоднейшие условия работы отдельных элементов системы и сводится в основном к передаче всей постоянной нагрузки на сжатую арку, в которой материал используется наилучшим образом.



Фиг. 21



Фиг. 22

Деревянный мост под автогужевую дорогу в Северном Сиаме

б) получить при оптимальном угле наклона раскосов нормальную длину панели (3—5 м);  
в) просто и экономично конструировать узловые сопряжения в ферме жесткости и в арке (примыкание подвесок).

### 3) Возможность перераспределения усилий

Как было указано выше, в комбинированных системах происходит определенное распределение нагрузки между аркой и фермой жесткости.

<sup>1</sup> При стандартной длине пиломатериалов избежать стыков в элементах фермы жесткости возможно при пролетах примерно до 100 м.

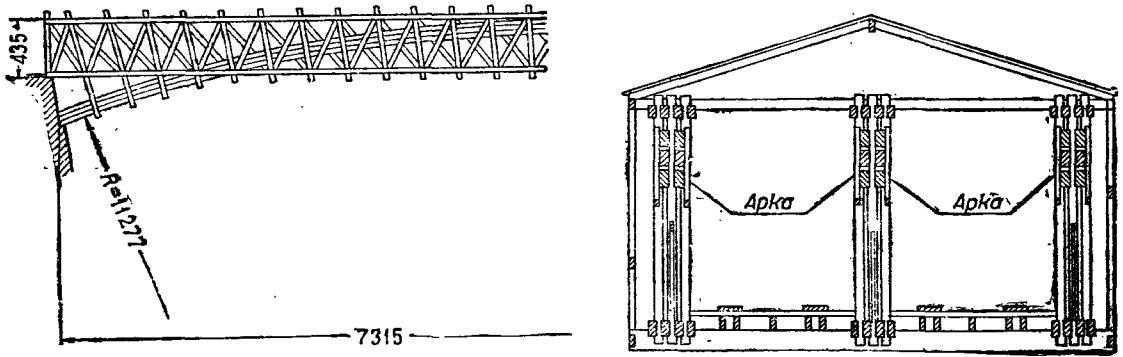
Перераспределение усилий может быть достигнуто различными приемами, зависящими от вида комбинированной системы, ее конструкции, метода сборки и т. п.

В распорных системах<sup>2</sup> перераспределение усилий достигается замыканием нижнего пояса фермы жесткости после установки пролетного строения на опоры и передачи всей постоянной нагрузки на арку, что предусматривается соответствующим порядком сборки.

В безраспорных системах<sup>3</sup> восприятие аркой постоянной нагрузки достигается приданием фер-

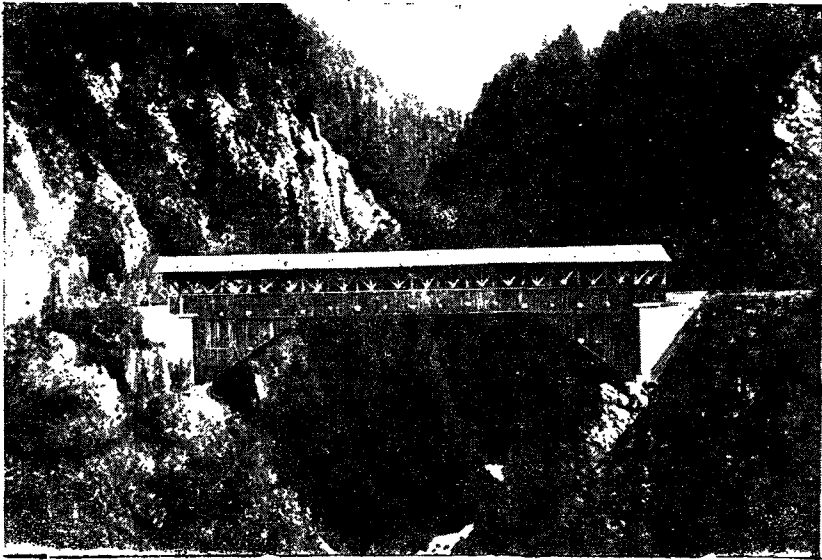
<sup>2</sup> См. проект городского моста  $l = 200$  м.

<sup>3</sup> См. проект моста  $l = 84$  м под автогужевую дорогу.

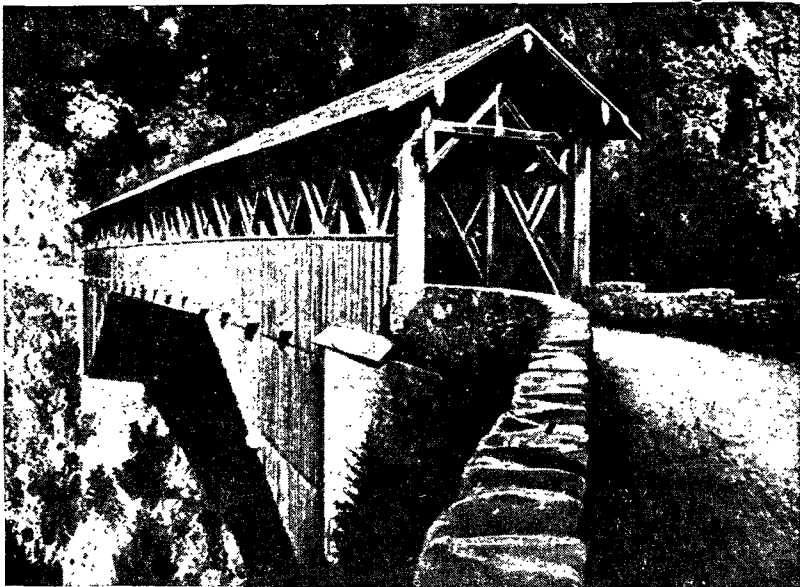


Фиг. 23. Деревянный мост в штате Пенсильвания (Америка), существующий 98 лет

Фиг. 24



Фиг. 25.



Деревянный мост системы Гау, построенный в 1857 г. в истоках Рейна

ме жесткости на сборочном бойке конструктивного строительного подъема, после чего уже производится сборка арки.

Возможность перераспределения усилий в элементах дает комбинированным системам некоторое преимущество перед простыми балочными фермами.

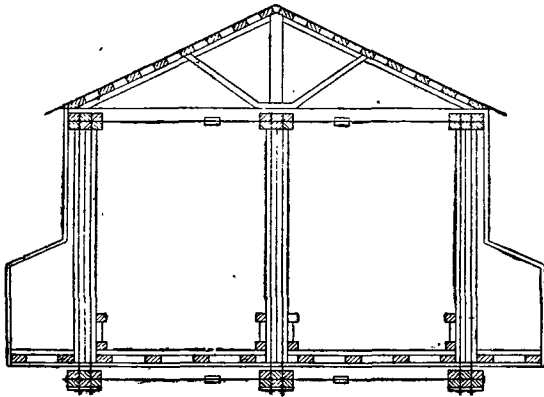
4) Удобство конструктивной защиты от гниения

Опыт швейцарского и американского мостостроения дает примеры исключительной долговечности (до 100 лет) деревянных мостов, защищенных обшивкой.

На фиг. 23 изображен мост пролетом 73 м, построенный в 1838 г. в штате Кентукки и существующий уже 98 лет. Как видно из поперечного разреза, мост снабжен крышей и боковой обшивкой.

На фиг. 24 и 25 представлен мост системы Гау пролетом 57 м, построенный в 1857 г. в истоках Рейна (в Швейцарии) с аналогичными мероприятиями для защиты конструкций от увлажнения.

Несмотря на общеизвестность этих мероприятий, обеспечивающих нормальный срок службы деревянных мостов, и наличие аналогичных при-



Фиг. 26. Поперечный разрез деревянного моста пролетом 56 м через р. Пахру около Подольска (СССР)

меров в мостостроительной практике СССР (мост пролетом 56 м через Пахру около Подольска, фиг. 26, просуществовавший 68 лет<sup>1</sup>), до сих пор строители деревянных мостов не уделяли должного внимания вопросам защиты деревянных мостов от действия атмосферных влияний.

Причиной этого является, повидимому, неудовлетворительность применявшихся до сих пор приемов с архитектурной точки зрения. Частичная защита отдельных элементов балочных решетчатых мостов (например устройство крыши над верхним поясом) оставляет уязвимыми остальные части конструкции (нижний пояс, решетку) и дает в лучшем случае неравнопрочную в отношении ее долговечности конструкцию.

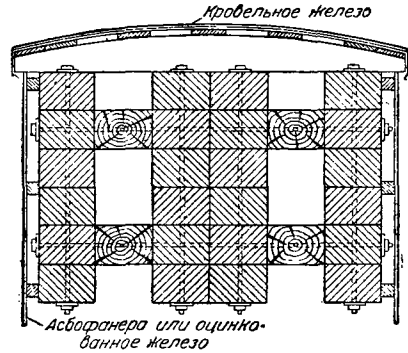
Отказываясь от устройства крыши и боковой обшивки из эстетических (а отчасти и из экономи-

<sup>1</sup> Мост был построен в 1864 г. и просуществовал до 1932 г. Мост был разобран ввиду несоответствия несущей конструкции современным нагрузкам. Как установлено при разборке, большая часть древесины прекрасно сохранилась. Объемный вес дерева оказался равным 550 кг/м<sup>3</sup>. Пролетное строение моста было выполнено в виде трех ферм системы Гау. Более подробные сведения об этом интересном сооружении можно найти в брошюре инж. Цапина С. А. «Деревянный мост через реку Пахру», Гострансиздат, 1935 г.

ческих) соображений, мы не можем использовать вышеописанный весьма рациональный прием конструктивной защиты от гниения в обычных балочных системах с верхними решетчатыми связями и звездой понизу.

В этом случае единственным мероприятием, повышающим срок службы моста, является консервирование всех его рабочих элементов.

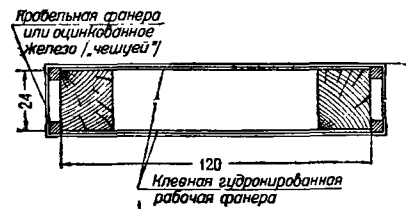
Комбинированные системы являются той формой, в которой сочетание конструктивных и химических методов борьбы с гниением обеспечивает полную капитальность сооружения без нарушения эстетических требований.



Фиг. 27. Поперечный разрез арки моста l = 84 м, защищенный крышей и боковой обшивкой

Устройство водонепроницаемой одежды проезжей части моста по верхним поясам ферм жесткости создает надежную защиту от увлажнения верхних поясов фермы и всех рабочих элементов проезжей части.

Консоли тротуаров в значительной мере предохраняют решетку и нижние пояса ферм жесткости (фиг. 31 и 34): Однако при косом дожде,



Фиг. 28. Подвеска коробчатого сечения, защищенная водонепроницаемой обшивкой от увлажнения атмосферными осадками

снеге или тумане эти части все же могут подвергнуться намоканию. Полная защита их от гниения достигается применением химических методов (см. ниже).

Предохранение от атмосферных влияний арки и подвесок благодаря простоте их форм не представляет затруднений. Арка защищается легкой крышей из кровельного оцинкованного железа и боковой обшивкой из асбофанеры с оставлением воздушных продухов для вентиляции (фиг. 27).

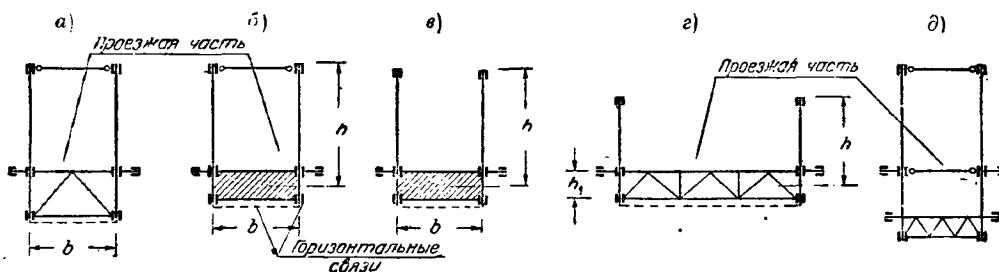
Подвескам наиболее рационально придать жесткое коробчатое сечение со стенками из гидропробитанной клееной или бакелитовой фанеры. Снаружи подвески обшиваются кровельным железом или водонепроницаемой кровельной или бакелитовой фанерой (фиг. 28).

Таким образом последовательная и почти полная ковструктивная защита элементов моста несколько не ухудшает его внешнего вида.

Ввиду трудности защиты от гниения верхних решетчатых связей в плоскости арки, обычно устраиваемых в мостах с ездой понизу, от этой системы связей лучше всего вообще отказаться.

Восприятие верхней частью фермы (аркой и подвесками) ветровой нагрузки и обеспечение устойчивости сжатой арки на продольный изгиб лучше всего достигается, как и в открытых мостах, при помощи жестких подвесок коробчатого сечения, образующих вместе с поперечными балками проезжей части жесткие полурамы<sup>1</sup> (фиг. 29). В плоскости арки могут быть поставлены распорки, защита которых не представляет затруднений (путем обшивки аналогично подвескам).

Устройство жестких поперечных рам имеет еще следующее преимущество.



Фиг. 29. Схемы поперечного сечения мостов с жесткими полурамами без верхних решетчатых связей

При наличии верхних продольных связей в деревянных мостах с криволинейным верхним поясом устройство наклонных опорных рам обычно представляет большие конструктивные трудности ввиду большой величины силы, передаваемой через опорные рамы.

Конструкция жестких полурам прекрасно увязывается с общим пространственным решением моста.

Размещение горизонтальных связей на уровне верхнего пояса фермы жесткости близко к центру тяжести ветрового давления на боковую поверхность моста в поперечном разрезе дает хорошо уравновешенную систему сил. Указанными конструктивными мероприятиями почти полностью разрешается вопрос о защите конструкции и моста от непосредственного увлажнения атмосферными осадками.

Обеспечение элементов моста, в особенности мест сопряжений, от вредного влияния конденсации атмосферной влаги достигается химическими методами борьбы с гниением (см. ниже).

#### 4. Принципы конструирования

##### 1) Принцип дробности в сечениях элементов

Отдельные элементы должны конструироваться на основе широкого и последовательного применения «принципа дробности».

<sup>1</sup> Методы расчета арки, раскрепленной таким образом на устойчивость, см. в трудах:

1. Тимошенко С. П., Курс сопротивления материалов, изд. 1930 г.

2. Проф. Стрелетский Н. С., Курс мостов, ч. 2, вып. 4, Гостехиздат, 1930 г.

3. Блейх, Теория и расчет железных мостов, Гострансиздат, 1931 г.

См. также раздел 5 настоящей статьи.

Арки конструируются в виде массивного, неразрезного криволинейного бруса составного сечения, образованного из отдельных «первичных» элементов — гнутых брусьев, размеры которых определяются масштабом сооружения. Совместная работа отдельных брусьев и образованных из них пакетов обеспечивается специальными связями, тип которых зависит от размеров сечения и количества прокладок между пакетами.

Продольная связь осуществляется стыками отдельных брусьев «вразбежку», создающими непрерывность арки на всем ее протяжении.

Зазоры между отдельными пакетами служат для прикрепления к арке элементов решетки (подвесок) и связей (распорок).

В мостах больших пролетов такая конструкция мощной арки представляется единственно целесообразной в противовес полигональной конструкции со стыками всех брусьев арки в одном сечении — в узлах (местах примыкания подвесок).

Описанный прием конструирования имеет следующие преимущества:

1) при большом количестве параллельно включенных в работу элементов, податливости и плотности связей местные дефекты одного из элементов, могущие выключить его из работы на данном участке, оказывают минимальное влияние на работу всего сечения в целом;

2) устройство стыков вразбежку весьма просто и не вызывает тех осложнений конструкций и той излишней затраты материалов, которые неизбежны при концентрированном решении стыка; одновременно конструкция арки освобождается от особо ответственных участков, каковыми является каждый концентрированный стык.

Примером такой конструкции могут служить арки в эскизных проектах: городского моста пролетом  $l = 200$  м (фиг. 30—45) и моста под автогужевую дорогу пролетом  $l = 84$  м (фиг. 52—69).

##### 2) Принцип дробности в сопряжениях

Как указано выше, развитие деревянного большепролетного мостостроения задерживается применяемыми до настоящего времени типами сопряжений.

Основными причинами этого являются:

1) недостатки, присущие этим соединениям, делающие их непригодными для мощных узловых сопряжений;

2) кустарность производства одних и значительная сложность применения других, не позволяющие широко индустриализировать производство работ и уменьшить их трудоемкость, что особенно важно в больших сооружениях;

3) масштаб большепролетных конструкций исключает возможность применения некоторых со-



единений, по существу отвечающих современным приемам конструирования.

В частности:

а) металлические шпонки с накладками из полосового железа (так называемые «гребенки») не годятся для сооружений, подверженных резким температурным колебаниям, так как согласная работа их в многорядовых сопряжениях не гарантирована вследствие трудности пригонки и различного коэффициента линейного расширения материалов;

б) гладкие кольцевые шпонки (Тухшерера) непригодны для узловых сопряжений ферм с мощной решеткой вследствие слабой их работы при больших углах между усилием и волокнами;

в) обыкновенные проволочные гвозди, весьма удобные для конструирования сквозных плоскостных систем легких покрытий (сегментные фермы, трехшарнирные арки) и в пространственных системах (своды-оболочки), оказываются непригодными в мостостроении больших пролетов вследствие несоответствия размеров гвоздей и воспринимаемых ими усилий масштабам сооружений;

г) применение нагелей большого диаметра ( $d > 6$  мм), требующих предварительного сверления гнезд, увеличивает трудоемкость работ. Эти обстоятельства делают неизбежным применение иных типов соединений, обеспечивающих дифференцированную передачу усилий в соответствии с «принципом дробности» и позволяющих широко индустриализировать производственные процессы.

Такими соединениями являются:

1) пластинчатые дубовые нагели;

2) зубчато-кольцевые шпонки системы СДК ЦНИПС;

3) крупносортные гвозди.

1) Пластинчатые дубовые нагели, служащие для сплачивания брусьев в сплошных балках составного сечения (балки проезжей части фиг. 32 и 33), обеспечивают надежную передачу значительных сдвигающих усилий при помощи большого числа упругих пластинок, почти исключают необходимость применения металла (болтов), позволяют осуществить конструктивный строительный подъем. Процесс изготовления балок на пластинчатых нагелях механизирован путем применения переносных ценодольбежных станков.

2) Зубчато-кольцевые шпонки модели СДК ЦНИПС диаметром до 22 см разрешают вопрос о мощных узловых сопряжениях в мостах больших пролетов благодаря одинаковой работе этих шпонок как вдоль, так и поперек волокон.

Плотность сопряжения и одновременно податливость его имеют большое значение при знакопеременных усилиях и динамической нагрузке.

Сборка сопряжений путем непосредственного вдавливания острых зубьев шпонки в древесину специальными обжимными приспособлениями освобождает от необходимости предварительного вырезывания гнезд. Примеры узлов больших пролетных конструкций на зубчато-кольцевых шпонках даны ниже на фиг. 40, 62, 63, а.

3) Крупносортные гвозди крестового и круглого сечения со специальной заточкой<sup>1</sup> (диаметром до 19,3 мм и

длиной до 75 см) обладают всеми достоинствами обыкновенных проволочных гвоздей и в отличие от них наряду с круглыми нагелями в сверленных гнездах основным соединением для сплачивания мощных, сплошных элементов составного сечения (арка — фиг. 36, 58 и 59) и в растянутых стальных (поояса фермы жесткости — фиг. 39).

Гвозди крестового сечения могут быть забиты различными способами (ручным, пневматическим, огнестрельным), ускоряющими темпы и уменьшающими трудоемкость работ, позволяли их широко индустриализировать.

Вышеуказанные новые типы соединений решают задачу о выборе соединений для деревянных мостов больших пролетов.

### 3) Методы борьбы с гниением как результатом дифференциальной конденсации

Выше было указано, что помимо предохранения конструкции от непосредственного увлажнения необходимо обеспечить ее от вредного влияния дифференциальной конденсации в результате температурного гистерезиса (отставания).

Это явление выражается в том, что изменение температуры теплоемких массивных частей деревянного пролетного строения (внутренние полости арки, узлы фермы жесткости) отстает от изменения температуры воздуха при суточных или сезонных ее колебаниях.

В результате ранней весной и по утрам нагревшийся влажный воздух, увеличивший свою влагоемкость и пополнивший дефицит насыщения водяными парами, конденсирует влагу на холодных поверхностях массивных деревянных элементов, особенно в наименее прогретых частях в толще конструкции, куда водяные пары легко проникают через всегда в них имеющиеся швы и щели.

Наиболее эффективным мероприятием по борьбе с гниением в результате дифференциальной конденсации является применение антисептиков последующего действия — «суперобмазок».

При сборке конструкции все сплачиваемые поверхности элементов, отверстия для болтов и пр. покрываются слоем суперобмазки; все доступные щели и швы в собранной конструкции промазываются клеемассой, чтобы предохранить антисептик последующего действия от выщелачивания при непосредственном воздействии случайно попавшей влаги (косой дождь и т. п.).

Комбинированное применение конструктивных мер борьбы с гниением и антисептиков последующего действия может обеспечить срок службы деревянных мостов больших пролетов в течение 40—50 лет, т. е. увеличить нормальный срок в  $2\frac{1}{2}$ —3 раза.

### 4) Методы борьбы с пожарной опасностью

Во всем комплексе вопросов, связанных с применением дерева для мостов больших пролетов, борьба с пожарной опасностью представляет наибольшие трудности.

Необходимо иметь в виду, что дерево — материал органического происхождения, поэтому средствами не может быть сделано абсолютно огнестойким, т. е. неразрушаемым (как Пы и медленно) от действия высокой температуры.

Наибольший эффект, которого можно достигнуть глубокой пропиткой дерева антипиренами, состоит в том, что пропитанное дерево само не поддерживает горения и разрушается только

<sup>1</sup> См. «Крупносортные гвозди».

в месте непосредственного воздействия пламени; этого было бы вполне достаточно для борьбы с пожарной опасностью в деревянном мостостроении, однако практическое применение глубокой пропитки встречает затруднения вследствие ряда недостатков, которыми в большей или меньшей степени обладают все известные в настоящее время химические составы.

Основными из них являются:

1) уменьшение механической крепости пропитанного дерева на 5—10%;

2) коррозия соприкасающихся с ним металлических частей;

3) увеличение веса (до 25%) деревянных пропитанных элементов вследствие повышения их гигроскопичности;

4) быстрое выщелачивание антипиренов при непосредственном воздействии атмосферной влаги;

5) отсутствие у большинства антипиренов антисептических свойств.

Ввиду этого в деревянных конструкциях промышленного и гражданского строительства до настоящего времени основными являются конструктивные меры борьбы с пожарной опасностью.

В мостах же, представляющих собой сооружения открытого типа, конструктивные методы борьбы с пожарной опасностью полностью осуществлены быть не могут.

Причинами возникновения пожара в деревянных мостах могут явиться:

а) источники возгорания, связанные с движением по мосту, как-то: искры из труб паровозов, угли, выпавшие из их топки, случайная папироса, брошенная пешеходом, вспышка мотора автомобиля, пролитое горючее и т. п.

б) источники пожара, являющиеся следствием движения под мостом: искры паровозов и т. п.

в) умышленный поджог моста, диверсионные акты и пр.

Оставляя в стороне вопрос о железнодорожных мостах, наиболее опасных в пожарном отношении, так как он не является темой настоящей статьи, остановимся на противопожарных мероприятиях в мостах под автогужевую дорогу и мостах городского типа.

Применение комбинированных систем и в этом случае значительно облегчает решение задачи, давая возможность использовать конструктивные меры борьбы с пожарной опасностью.

Деревянные мосты комбинированных систем (фиг. 6, б, в; фиг. 7, б, в; фиг. 10), как правило, осуществляются с ездой по верхнему поясу фермы жесткости (за исключением двухъярусных мостов, на которых мы остановимся ниже).

Такая конструкция позволяет обезопасить мост от источников возгорания, связанных с движением по мосту, путем следующих мероприятий:

1) одежда проезжей части делается в виде деревянной массивной торцовой мостовой, покрытой коркой из гранитных высевок и тугоплавкого битума; такая мостовая безусловно является конструкцией, трудно воспламеняющейся;

2) настил тротуаров выполняется из невозгорающихся материалов, например шлакобетонных плиток и т. п., а свободные полосы (под аркой) между проезжей частью и тротуарами засеваются газом, одновременно защищающим гидроизоляцию (гольцементный ковер проезжей части) от вредного влияния солнечных лучей (фиг. 32 и 33);

3) нижние части подвесок обшиваются огнезащитной одеждой из асбофанеры и т. п.;

4) верхних решетчатых связей не ставят (см. выше), распорки же защищают аналогично подвескам обшивкой.

Ввиду того что нижняя часть моста достаточно предохраняется от возгорания сверху водонепроницаемой проезжей частью, для защиты моста от возгорания снизу (в основном — от случайных искр проходящих судов) вполне достаточными мероприятиями являются: а) поверхностное покрытие элементов решетки, предохраненных от выщелачивания, антипиренами, и б) обшивка больших плоскостей (проезжей части с нижней стороны и поясов фермы жесткости) асбофанерой.

В больших городских двухъярусных мостах (фиг. 31) пожарная опасность, связанная с ездой в нижнем ярусе, безусловно значительно больше вследствие приближения (по условиям габарита) целого ряда открытых деревянных частей к источникам возгорания (трамвайным проводам и пр.).

В таких мостах можно рекомендовать те же комбинированные методы, что и выше: обшивку асбофанерой, пропитку ряда элементов антипиренами и т. п.

Повышенная пожарная опасность двухъярусных мостов является одним из существеннейших их недостатков и определяет целесообразность перехода городских мостов к открытым одноярусным мостам.

Для предохранения мостов от умышленного поджога, диверсионных актов и пр. необходимо обеспечить удобство осмотра служебным персоналом всех частей сооружения и надлежащую охрану его, сделав невозможным доступ посторонних лиц в места, не предназначенные для движения.

## 5. Проект городского моста пролетом $l = 200$ м

В качестве иллюстраций изложенных принципов рассмотрим эскизный проект деревянного городского двухъярусного моста пролетом 200 м<sup>1</sup>.

### 1) Общие данные

Фермы спроектированы в виде распорной комбинированной системы по схеме фиг. 7, в. Генеральные размеры моста (фиг. 30): пролет  $l = 200$  м, стрела подъема арки  $f = 23$ ,  $\frac{f}{l} = \frac{1}{7,15}$ , высота фермы жесткости  $h = 6,60$  м,  $\frac{h}{l} \approx \frac{1}{30}$ . Архитектурный строительный подъем  $\frac{1}{100} l = 2,0$  м, что дает продольный уклон (средний)  $i = 2\%$ .

Проезжие части запроектированы по верхнему и нижнему поясам ферм жесткости (фиг. 31). В соответствии с двумя направлениями движения в каждом ярусе пролетное строение моста имеет четыре фермы — по две для каждого проезда. Две средние фермы расположены вплотную друг к другу.

Все четыре фермы связаны между собой распорками и прокладками в верхней части<sup>2</sup> и конструкцией проезжих частей — внизу. Габарит каждого

<sup>1</sup> См. также проект моста пролетом 84 м под автогужевую дорогу (стр. 833 и след.). Оба проекта разработаны в СДК ЦНИИС под руководством проф. Карсена Г. Г.: первый — автором статьи, второй — инж. Рабиновичем А. И. под непосредственным руководством автора.

<sup>2</sup> Устройство распорок, связывающих арки, не вызывается здесь необходимостью.

проезда принят по схеме Г2 ТУ и Н Цудортранса при ширине между отбойными брусками 6,5 м и в свету между фермами — 7 м. Суммарная ширина проезда 6,5 · 4,0 = 26 м. Высота проезда в нижнем ярусе из-за условий пропуска трамвая принята 5,32 м. Тротуары шириной по 2 м вынесены на консоли.

Верхний ярус предназначен для пешеходного движения и легкового автотранспорта; нижний — для грузового автомобильного и трамвайного движения.

**Расчетные нагрузки**

Вертикальная нагрузка:

а) на верхнем ярусе для тротуаров толпа интенсивностью  $q = 300 \text{ кг/м}^2$ ; для каждого проезда — две сплошные ленты автомобилей по классу нагрузки Н4;

б) в нижнем ярусе для каждого из двух проездов поезд из шести трамвайных четырехосных вагонов с нагрузкой на ось 7 т и поезд тяжелых грузовиков (по классу Н10 согл. § 8 ТУ и Н Цудортранса).

Ветровая нагрузка —  $p_w = 130 \text{ кг/м}^2$  (по Единым нормам строительного проектирования).

При замене сосредоточенной нагрузки от проезда трамваев и грузовиков, эквивалентной равномерно распределенной по всему пролету, на одну ферму приходится временная нагрузка  $p = 2 \text{ т/м}^2$ .

Постоянная нагрузка одной фермы от веса пролетного строения  $g = 7 \text{ т/м}^2$ .

Усилия в основных элементах конструкции (определены по приближенному расчету).

Наибольшее значение распора от полной нагрузки:

$$H = 1760 \text{ т.}$$

Наибольшее усилие в арке:

$$S_{\max} = 2020 \text{ т.}$$

Усилия в поясах фермы жесткости:

$$Q_{\max} = +212 \text{ т};$$

$$Q_{\min} = -229 \text{ т} \text{ (с учетом влияния шпренгелей);}$$

$$U_{\max} = \pm 212 \text{ т.}$$

Усилия в основных раскосах фермы жесткости:

$$D_{\max} = +84,4 \text{ т} \text{ (с учетом влияния шпренгеля);}$$

$$D_{\min} = -74,5 \text{ т.}$$

Наибольшее усилие в подвесках:

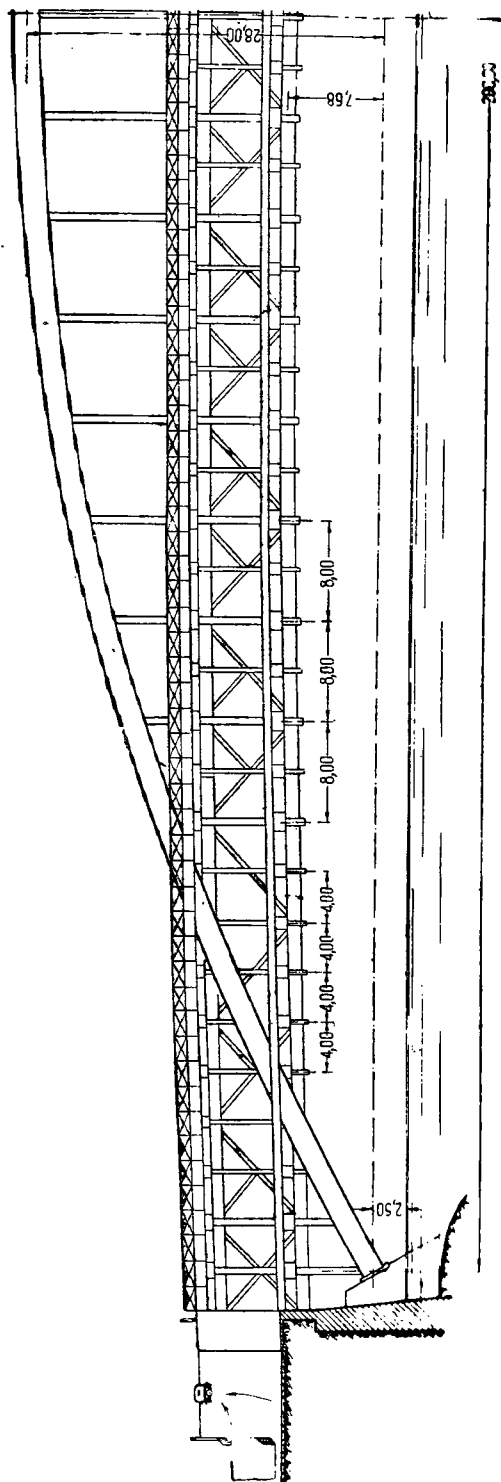
$$Z_{\max} = +71,6 \text{ т.}$$

Приведенные числовые значения усилий даны для ориентировки в масштабах сооружения.

Материал сооружения — воздушно-сухая сосна марки 0.

**2) Конструкция проезжих частей**

Конструкция проезжих частей моста, изображенная на фиг. 32 и 33, запроектирована в соответствии с изложенными выше принципами.



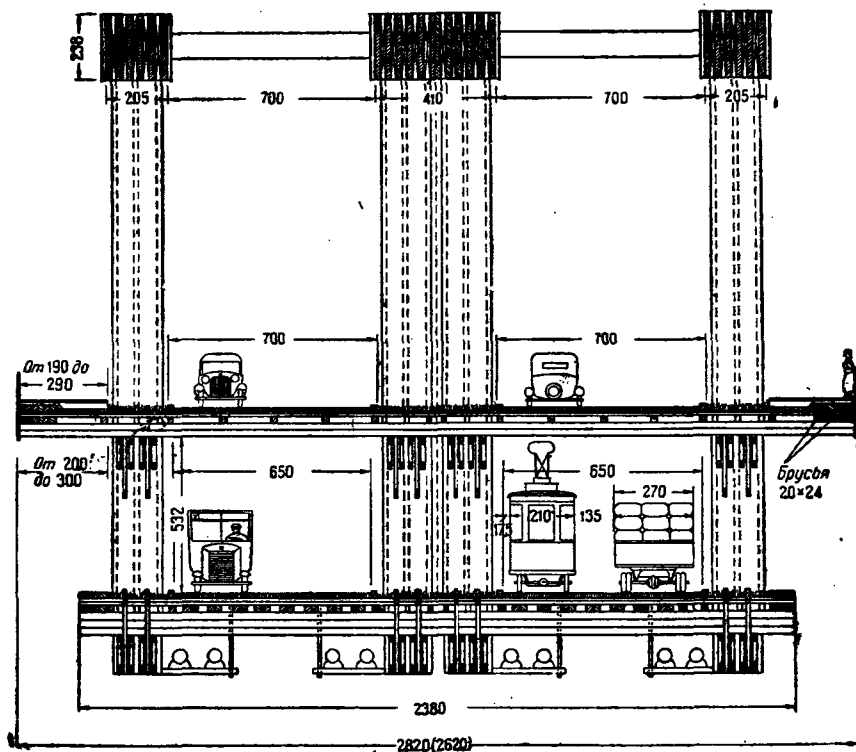
Фиг. 30. Боковой вид городского моста  $l = 200 \text{ м}$

1 Более подробные данные о весе отдельных частей, строительных и весовых коэффициентах приведены ниже в главе технико-экономических показателей (табл. 3).

Одеждой проезжих частей служит деревянная торцовая мостовая из прямоугольного торца размерами для верхней проезжей части  $10 \times 10 \times 25$  см, для нижней —  $13 \times 10 \times 25$  см<sup>1</sup>.

Обычно торец изготавливается из сосны влажностью 15—17%; применение торца из лиственницы улучшает качество мостовой. Торцы укладываются прямыми рядами, а между рядами во всю ширину проезжей части — деревянные рейки (высотой 40—60 мм и толщиной 6 мм), пришиваемые к торцам гвоздями (фиг. 34). Швы заполняются асфальтовой мастикой. Вдоль отбойных брусьев осуществляются швы расшире-

Гидроизоляцией обеих проезжих частей служит четырехслойный гольцементный ковер, укладываемый непосредственно под торцовую мостовую и непрерывно проходящий по всей ширине и длине моста (фиг. 32 и 33). В пространствах под арками ковер защищается от выгорания слоем песка, поверх которого может быть насыпана растительная земля и устроены газоны. На консолях верхней проезжей части (фиг. 32) ковер закрывается слоем песка и настилом тротуаров в виде отдельных съемных щитов или плит, обеспечивающих удобный доступ к водоизоляционному шву.



Фиг. 31. Поперечный разрез городского моста  $l = 200$  м

ния толщиной 40—50 мм. Поверхность торцовой мостовой обрабатывается битумом с гранитными высечками; толщина корки около 5 мм. Мостовая имеет поперечный уклон 2,5% от середины проеда к отбойным брусьям. Торец укладывается непосредственно на гидроизоляционный слой, покрытый горячим битумом. Поверхностная обработка торцовой мостовой: 1) увеличивает сроки ее службы, 2) уменьшает износ, 3) создает мягкость езды, 4) повышает водонепроницаемость.

Выбор торцовой мостовой для одежды проезжих частей обуславливается: 1) небольшим весом этой одежды, 2) упругостью ее, уменьшающей динамическое воздействие нагрузок, 3) удобствами для автотранспорта (мягкость езды, отсутствие скользкости и пр.), 4) возможностью легко производить ремонт без нарушения целостности гидроизоляционного слоя.

Во всех местах пересечения арок и подвесок с проезжими частями обеспечивается полная водонепроницаемость швов путем надлежащих сопряжений гольцементного ковра с обшивкой арок и подвесок по типу аналогичных устройств в плоской крыше на деревянной основе.

Основой под гидроизоляционный ковер служит двойной перекрестный настил, состоящий из верхнего сплошного, «защитного», настила, нашиваемого под углом  $45^\circ$  к продольной оси моста, и нижнего разреженного, «рабочего», настила, расположенного нормально к этой оси (фиг. 32, 33, 35). Защитный настил, на который наклеивается водоизоляционный ковер, выполняется из узких

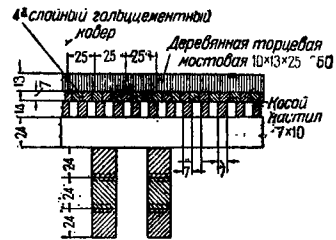
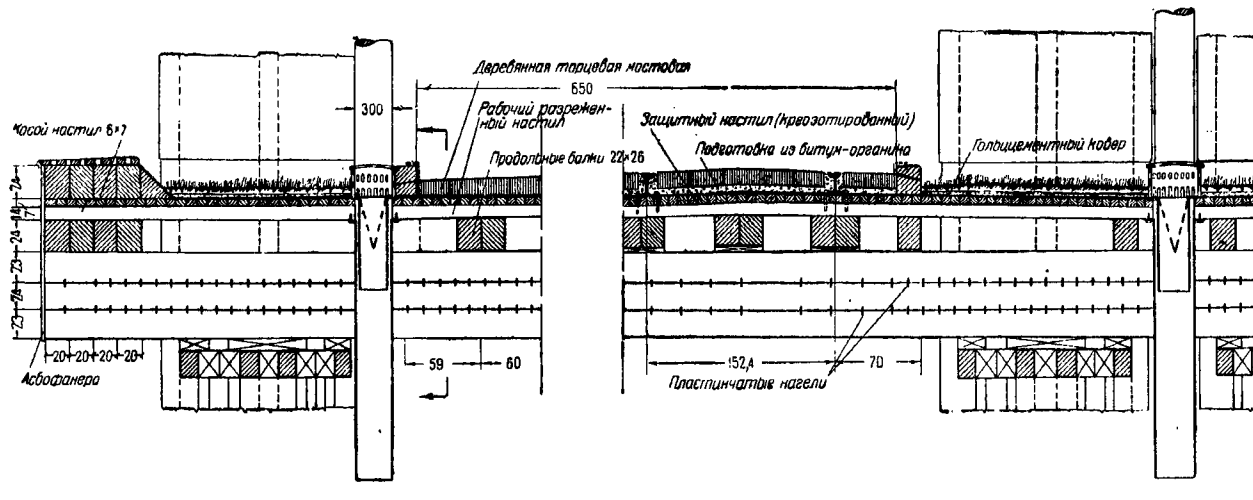
Вес торца 600—700 кг/м<sup>2</sup>. Расход ирревотового масла 160 кг на 1 м<sup>2</sup> торца.

Срок службы основной торцовой мостовой из пропитанного торца без поверхностной обработки—5 лет, при поверхностной обработке мостовой битумом с гранитными высечками—7,5—10 лет.

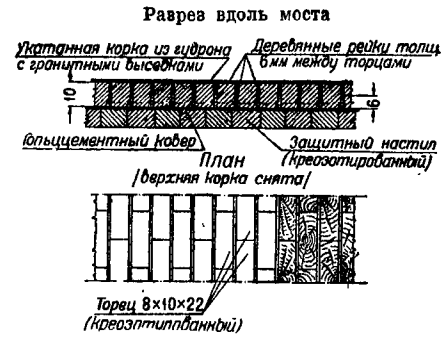
Ежегодный ремонт основной торцовой мостовой (спустя 2—3 года после постройки)—5—7% от первоначальной стоимости.

<sup>1</sup> По данным Лендоротдела:  
Размеры торца: высота  $h = 100$  мм, размеры в плане—ширина 60—80 мм, длина 150—220 мм.





Фиг. 33. Нижняя проезжая часть городского моста  $l = 200$  м



Фиг. 34. Детали торцевой мостовой

(6 × 6 см) креовотированных сухих брусков.

Помимо своих прямых функций перекрестный настил обеих проезжих частей используется как: стенка горизонтальных балок-овязей в плоскости верхнего и нижнего поясов фермы жесткости. Настилы поддерживаются системой продольных и поперечных балок из брусьев прямоугольного сечения. Поперечные балки запроектированы в виде сплошных брусьев составного сечения на пластинчатых нагелях: для верхней проезжей части — из двух брусьев по высоте (фиг. 32), для нижней — из трех брусьев (фиг. 33). Каждая поперечная балка состоит из двух таких составных брусьев и опирается на пояса фермы жесткости в основных и промежуточных узлах, охватывая с двух сторон подвески или соответственно вспомогательные стойки шпренгелей.

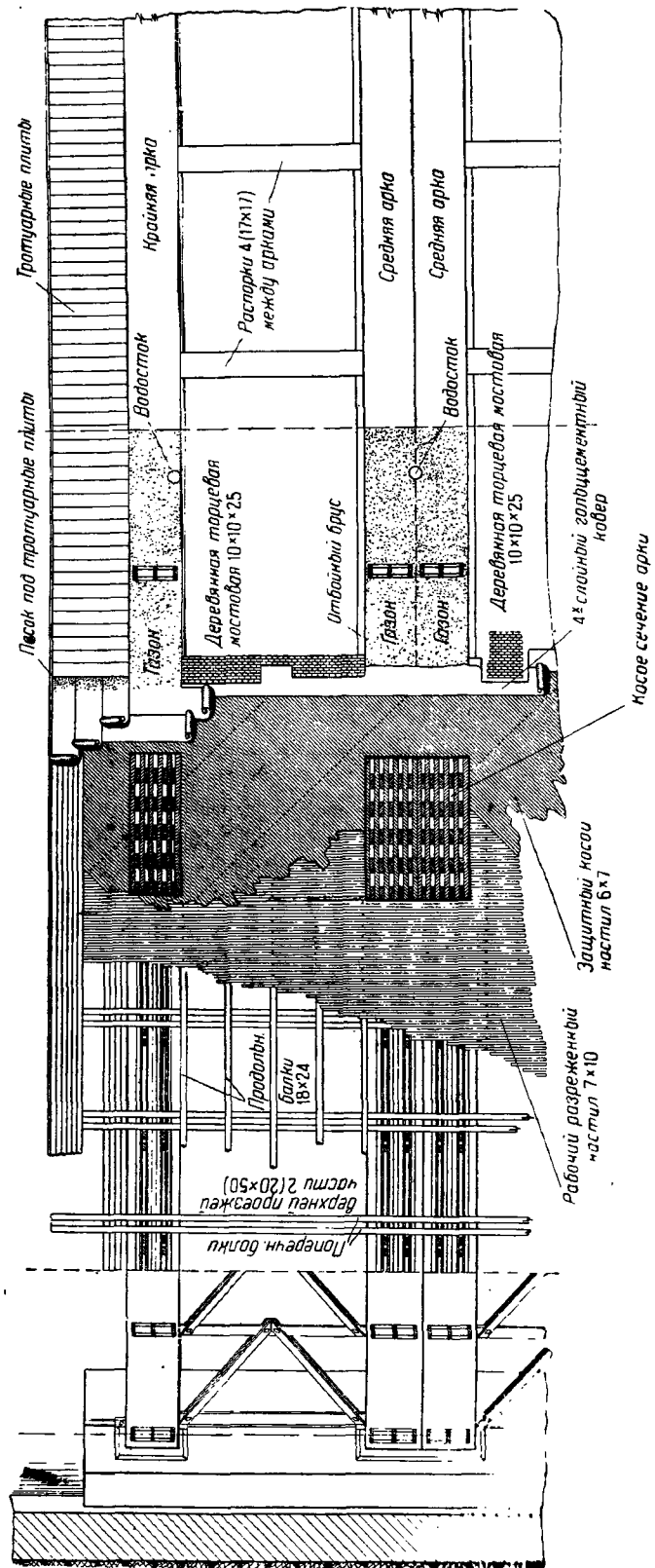
### 3) Несущая конструкция

Несущая конструкция запроектирована в виде четырех ферм, состоящих каждая из арки составного сечения и фермы жесткости с треугольной решеткой и верхними шпренгелями; арка связана с фермой жесткости подвесками корбочатого сечения.

Арки (фиг. 36) имеют по всей длине пролета постоянное сечение и состоят из 6 ветвей-пакетов, каждая из которых образована из 12 рабочих гнутых брусьев сечением 17 × 20 см со стыками вразбежку. Между отдельными ветвями арок имеются зазоры в 15 и 20 см, служащие для прикрепления брусьев подвесок, для пропуска поясных стыковых накладок в местах пересечения арки с поясами фермы жесткости и для вентиляции внутренних поверхностей.

Каждая из шести ветвей арки разделяется по высоте на 3 части высотой по 68 см (из четырех брусьев) со сплошными прокладками между ними, прерывающимися в местах прикрепления подвесок для пропуска элементов распорок, связывающих арки в горизонтальном направлении.

Упомянутые прокладки одновременно служат для перекрытия стыков рабочих брусьев

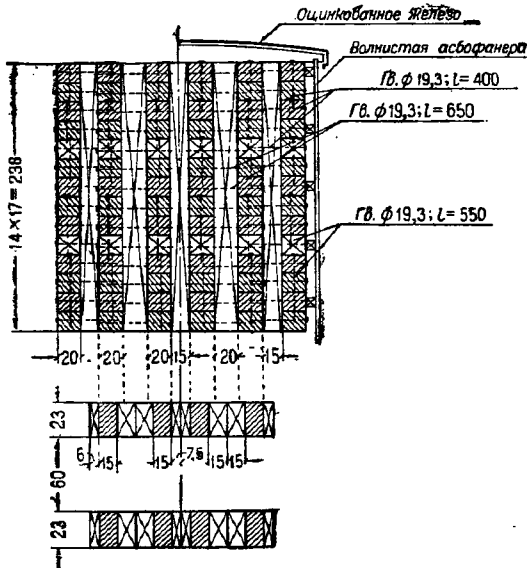


Фиг. 35 План городского моста 1 — 200 м

арки, длина которых принята равной 8,0 м (длина панели).

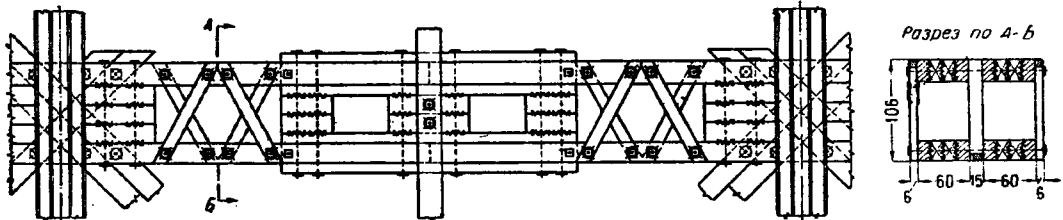
Брусья отдельных ветвей шиты между собой гвоздями крестового сечения диаметром 19,3 мм, забитыми вертикально.

Разрез по А — А



Фиг. 36. Сечение арки пояса фермы жесткости (к фиг. 30)

В горизонтальном направлении отдельные ветви арок скрепляются между собой при помощи вертикальных прокладок<sup>1</sup> и крестовых гвоздей диаметром 19,3 мм.



Фиг. 37. Связи поясов фермы жесткости (к фиг. 30)

Рабочее сечение арки имеет размеры  $2,04 \times 1,20$  м с площадью  $F = 2,45$  м<sup>2</sup> при полной высоте 2,38 м и ширине 2,05 м.

Пояса фермы жесткости (сечения верхнего и нижнего пояса одинаковы) состоят

<sup>1</sup> При небольшой ширине вертикальных прокладок (отношение ширины к толщине немногим более принятого в проекте) необходима проверка гвоздей на выдергивание под влиянием опрокидывающего прокладку момента от эксцентрично приложенных сдвигающих усилий.

Как показали работы СДК ПНИПС по исследованию продольного изгиба составных стержней, подобная форма прокладок ухудшает работу составного бруса по сравнению с сопротивлением стержня того же сечения, но с широкими прокладками. Ввиду этого во втором примере (см. проект моста под автожелезную дорогу  $l = 84$  м), рассмотренном в этой статье, приведены другие варианты конструкции прокладок в сжатой арке составного сечения.

каждый из восьми брусьев сечением  $15 \times 23$  см, расположенных в 2 яруса (фиг. 36).

Зазоры по горизонтали между отдельными брусьями равны соответственно 30, 15 и 30 см и служат: средний (15 см) — для пропуска среднего элемента подвесок; два крайних (по 30 см) — для размещения решетки.

Зазор по вертикали между двумя ярусами брусьев поясов фермы жесткости равен 60 см.

Связи между отдельными брусьями поясов осуществляются: а) в узлах по горизонтали — элементами решетки и подвесок, по вертикали — сплошными прокладками на зубчато-кольцевых шпонках (фиг. 40); б) в панелях по горизонтали — сплошными прокладками, по вертикали — сплошными прокладками и три системы решетчатых связей, прикрепляемые к брусьям поясов: одна — в среднем зазоре (15 см), две — к наружным граням крайних брусьев (фиг. 37).

Прикрепление связей в проекте предполагается на зубчато-кольцевых шпонках малого диаметра; последние, если то позволит величина сдвигающих усилий, при расчете поясов на продольный изгиб могут быть заменены проволочными гвоздями.

Стыки обоих поясов фермы жесткости размещаются в одном и том же вертикальном сечении через каждые 8 м по длине моста в местах примыкания к поясам стоек шпренгелей (фиг. 37 и 38).

Расположение стыков позволяет осуществить сборку фермы жесткости из отдельных «сборочных» элементов (см. ниже). Стыки конструируются при помощи вертикальных и горизонтальных накладок на гвоздях крестового сечения диаметром 19,3 мм, длиной: вертикальных  $l = 430$  мм, горизонтальных  $l = 720$  мм (фиг. 39).

Описанная конструкция характерна для мостов больших пролетов. Осуществление всей фермы целиком на зубчато-кольцевых шпонках нецелесообразно ввиду необходимости производить одновременную запрессовку сопряжений по всей длине конструкции, что требует весьма

значительного количества приспособлений для сборки. В случае применения отдельных заранее собранных элементов стыки на зубчато-кольцевых шпонках неосуществимы. Применение для стыков гвоздей крестового сечения вполне решает задачу, позволяя одновременно производить замыкание фермы жесткости после передачи всей постоянной нагрузки на арку (см. ниже методы сборки).

В месте пересечения арки с фермой жесткости брусья поясов прерываются и заменяются накладками и прокладками, пропускаемыми в зазоры между ветвями арки (фиг. 36). Связь накладок и прокладок с брусьями поясов осуществляется на гвоздях крестового сечения диаметром 19,3 мм,  $l = 720$  мм. В пределах пересечения с аркой прокладки толщиной 15 см опиливаются до тол-



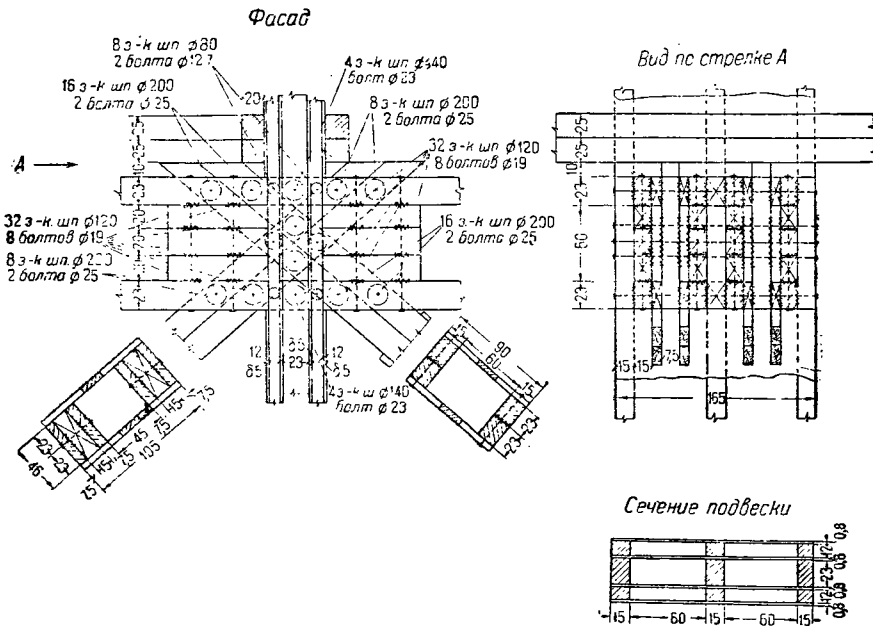


Для однообразия в решении стыков не исключена возможность конструирования стыков нисходящих раскосов также на гвоздях крестового сечения.

Ферма жесткости подвешена к арке на подвесках (фиг. 40), состоящих из шести брусьев сечением  $12 \times 15$  см и трех брусьев сечением  $23 \times 15$  см, соединенных четырьмя листами клееной гидронированной фанеры толщиной 8 мм. Фанера связывает отдельные брусья подвески в жесткое коробчатое сечение, способное предотвратить выпучивание арки при продольном изгибе из плоскости фермы и передать давление ветра на арку и подвески горизонтальным ветровым балкам, расположенным в плоскости

расположенные двутавровые балки, стенкой которой служат поперечный (рабочий) и косой (защитный) настилы проезжих частей, а поясами пакеты брусьев сечением  $20 \times 24$  см каждый (в количестве 12 шт. для верхней и 8 шт. для нижней балки).

Опорные реакции горизонтальных связей передаются на передние вертикальные железобетонные стенки (фиг. 30) береговых устоев, служащие для устройства пандусов — въездов на верхнюю проезжую часть моста (фиг. 46). Опорные части связей запроектированы в виде пакетов крезовотированных деревянных брусьев, надежно скрепленных со стенками устоев и изолированных от них толевыми прокладками.



Фиг. 40. Типовой узел фермы жесткости (к фиг. 30)

верхней и нижней проезжих частей. Средняя ветвь подвески пропускается в средний зазор между брусьями поясов фермы жесткости; крайние ветви охватывают пояса фермы снаружи.

Подвески прикрепляются: к ферме жесткости на зубчато-кольцевых шпонках (фиг. 40), к арке — на гвоздях крестового сечения диаметром 19,3 мм,  $l = 500$  мм; ветви подвесок пропускаются в соответствующие зазоры между ветвями арки (фиг. 44).

Элементы шпренгелей (второстепенные раскосы и стойки) решаются по тому же принципу, что и основные элементы решетки, с аналогичным решением узлов (фиг. 42 и 43).

Стойки шпренгелей сконструированы из трех брусьев сечением  $23 \times 15$  см каждый (фиг. 39). В узлах шпренгелей (фиг. 42 и 43) усилия передаются при помощи зубчато-кольцевых шпонок через прокладку между элементами стоек и раскосов.

#### 4) Связи

Пролетное строение имеет две системы горизонтальных связей в плоскостях верхней и нижней проезжих частей (фиг. 31, 32, 33 и 35). Обе системы связей представляют собой горизонтально

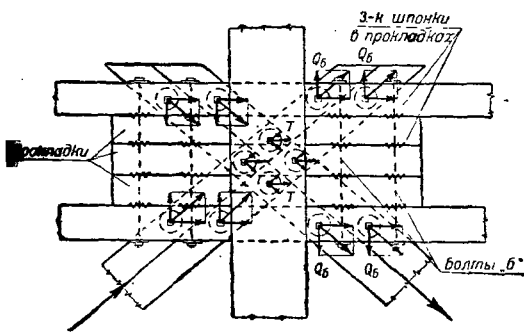
В соответствии с установками, изложенными выше, верхняя часть арок запроектирована без обычных решетчатых связей; имеются только распорки в местах прикрепления подвесок к арке (фиг. 31 и 44) во всех узлах, где это позволяет условия габарита верхней проезжей части.

Давление ветра на верхнюю часть арки и подвески в каждой панели передается на упомянутые выше горизонтальные связи (в плоскостях проезжих частей) жесткими подвесками, которые, работая как рычаги второго рода, помимо передачи усилий от ветра должны обеспечивать верхнюю часть арки от выпучивания из плоскости фермы при продольном изгибе <sup>1</sup>.

#### 5) Опоры

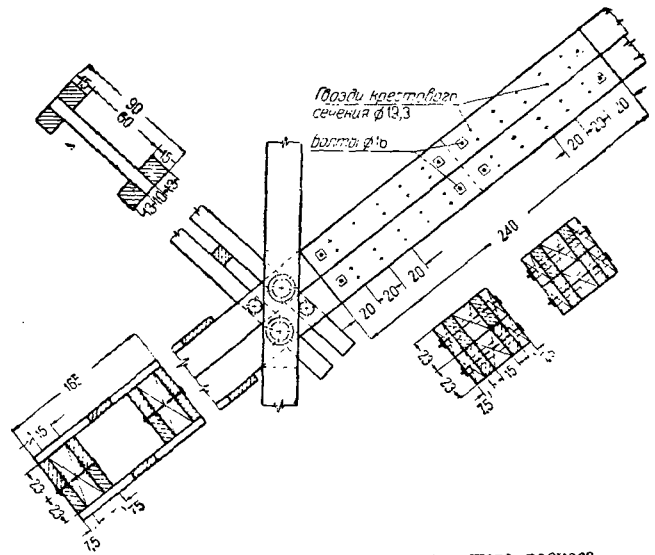
Опоры моста представляют собой массивные железобетонные устои. Пяты арок опираются на железобетонные,

<sup>1</sup> Предварительные ориентировочные расчеты, произведенные в эскизном проекте, показали, что жесткость всей системы недостаточна и что при детальном проектировании для увеличения поперечной жесткости пролетного строения может потребоваться усиление поперечных балок нижней проезжей части путем устройства решетчатой конструкции в пределах высоты нижнего пояса (см. схему 2 на фиг. 29). Эта высота в данном проекте частично использована для размещения трубопроводов, кабелей ГЭС и т. п. (фиг. 31).

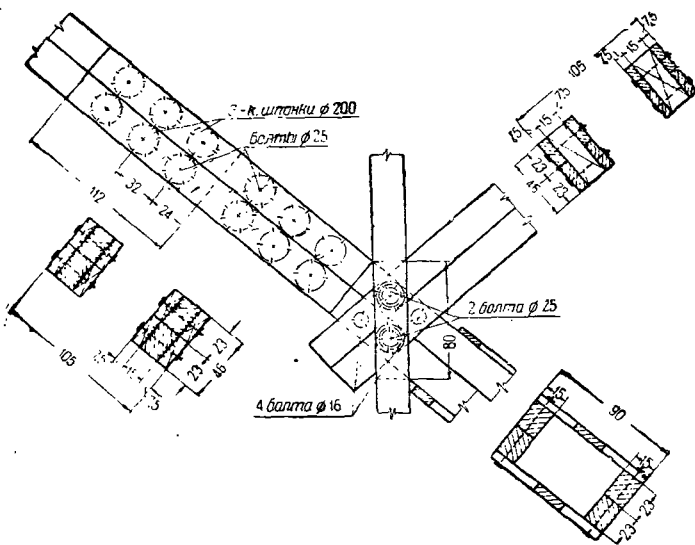


$Q_6$  — силы, растягивающие болты б

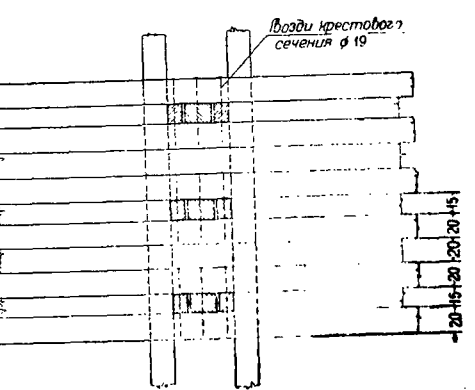
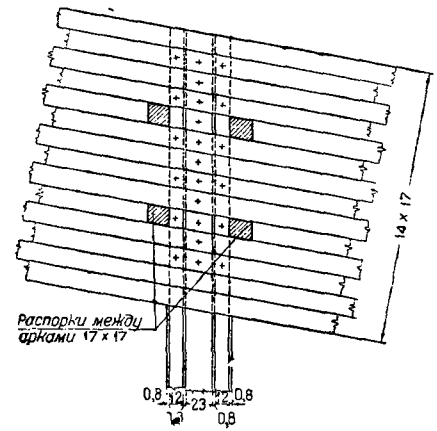
Фиг. 41. Схема передачи усилий в узле фермы жесткости (к фиг. 30)



Фиг. 43. Узел шпренгеля и стык восходящего раскоса (к фиг. 30)

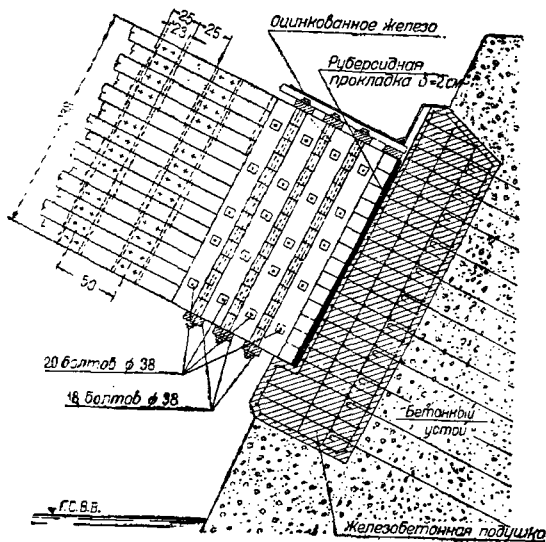


Фиг. 42. Узел шпренгеля и стык нисходящего раскоса (к фиг. 30)



Фиг. 44. Деталь прикрепления подвески к арке (к фиг. 30)

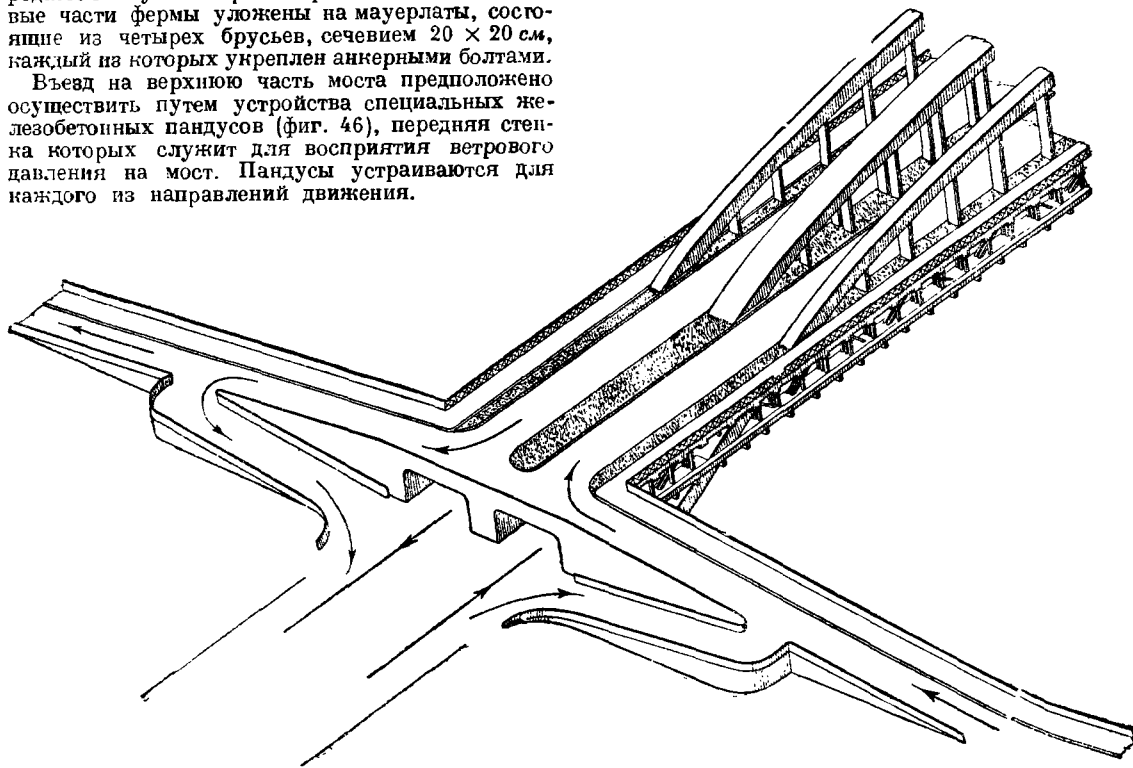
армированные сеткой подферменные подушки (фиг. 45). Под торцы арок укладывается упругая прокладка из нескольких слоев рубероида на клебемассе. Конструкция подферменников обеспечивает возможность опускания на них пят арок при выбранном способе сборки на плаву (см. ниже). Опорное давление ферм жесткости пе-



Фиг. 45. Опорный узел арки (к фиг. 30)

редается на устои через опорные стойки. Концевые части фермы уложены на мауэрлаты, состоящие из четырех брусков, сечением  $20 \times 20$  см, каждый из которых укреплен анкерными болтами.

Въезд на верхнюю часть моста предполагается осуществить путем устройства специальных железобетонных пандусов (фиг. 46), передняя стенка которых служит для восприятия ветрового давления на мост. Пандусы устраиваются для каждого из направлений движения.



Фиг. 46. Общий вид береговых опор и въездов на мост (к фиг. 30)

## 6) Защита от гниения и противопожарные мероприятия

В конструкции осуществлены конструктивные и химические мероприятия по борьбе с гниением и пожарной опасностью, подробно описанные выше.

Отвод атмосферных осадков с водонепроницаемых проезжих частей и тротуаров осуществляется путем придания им поперечных и продольных уклонов и устройств водоспусков надлежащего диаметра и конструкции (фиг. 32 и 33). Арки обшиваются сверху оцинкованным кровельным железом по брускам, с боков — волнистой асбофанерой с оставлением продухов между обшивкой и телом арок для вентиляции.

Все швы и сопряжения консервируются суперобмазкой.

Элементы моста, недостаточно защищенные от косого дождя консолями тротуаров и могущие подвергнуться непосредственному увлажнению, пропитываются креозотовым маслом по способу горяче-холодной ванны с помощью простейшего оборудования.

Открытые деревянные части моста, представляющие опасность возгорания, обрабатываются антипиренами или обшиваются асбофанерой.

## 7) Сборка и установка

Сборка пролетного строения может быть осуществлена как на постоянных подмостях, так и методом, принятым в настоящем проекте. Последний избавляет от необходимости забивки свай для подмостей в русле реки, не загромождаст

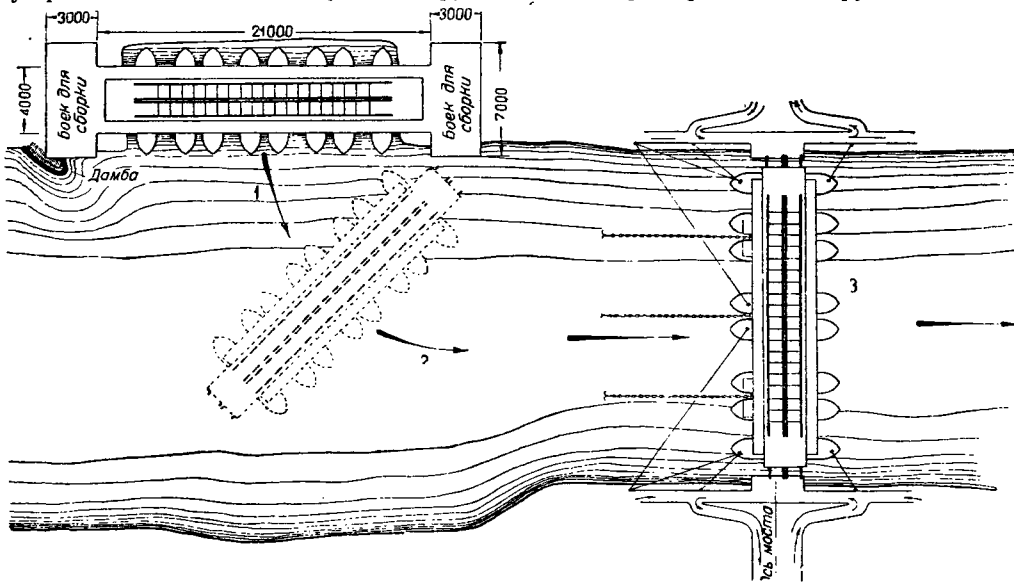
реку постоянными подмостями, стесняющими движение по ней в городских условиях, и в основном сводится к следующему.

У одного из берегов по течению (выше моста), используя по возможности конфигурацию берега, устраивают «ковш», в который заводят и погружают на дно 8 повтонов-барж (обработка два предусматривает это обстоятельство) путем наполнения их водным балластом (фиг. 47, положение 1, а также фиг. 48). На понтонах и в промежутках между ними на мелководье сооружаются подмости, поддерживающие сборочную площадку. С обоих концов сборочной площадки, имеющей уклоны, соответствующие строительному подъему ферм, устраиваются бойки, на которых монтируют

которых подвозится к собираемой на бойке ферме жесткости.

У каждого сборочного элемента с одной стороны, в местах стыков поясов, уже на бойке ставятся стыковые накладные; таким образом концы поясов каждого последующего подвозимого элемента входят в стыковые накладные как в обувь. В верхнем поясе стыки крепятся наглухо непосредственно после подвозки элемента путем забивки гвоздей крестового сечения; в нижнем же поясе осуществляются временные монтажные стыки.

Непосредственно после монтажа фермы жесткости приступают, начиная с середины, к устройству проезжей части по верхнему поясу, заканчивая его предварительной загрузкой защитного



Фиг. 47. Основные положения сборки и установки городского моста  $l = 200$  м

Примечание. В момент 2 перевозки моста на плаву расчалки и буксиров не показано

сборочные элементы фермы жесткости (фиг. 48). Последние представляют собой части фермы жесткости, по длине равные участку между стыками поясов (фиг. 38).

Весь сборочный элемент конструируется на зубчато-кольцевых шпонках. Длина брусков для поясов равна 8,0 м. Сначала производится сборка четырех вертикальных пакетов поясных брусков (фиг. 40), соединенных между собой вертикальными<sup>1</sup> прокладками на шпонках. Далее, в горизонтальном положении производится сборка этих пакетов в конструкции сборочного элемента и устанавливаются элементы решетки и подвесок путем запрессовки (обжима) узлов специальными приспособлениями. Два сборочных элемента фермы жесткости, смонтированные друг против друга на бойке, поднимаются в вертикальное положение копром и закрепляются в этом положении на расстоянии; соответствующем расстоянию между ними в конструкции, образуя часть коробчатого поперечного сечения нижней части моста. Полученный пространственный элемент ставится на подводимые под поперечные связи тележки, на

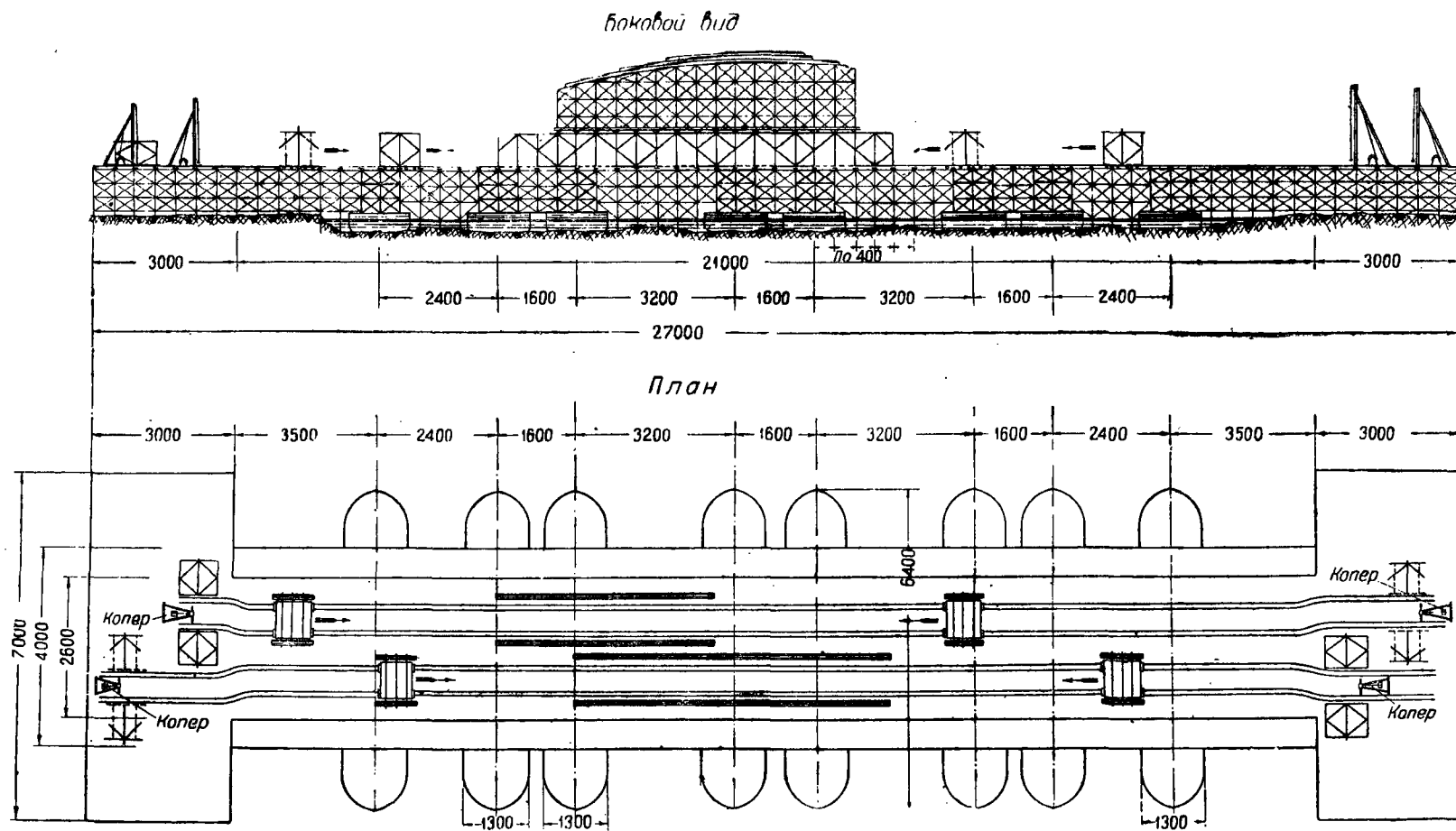
(верхнего) настила клебемассой, чтобы возможно скорее предохранить от увлажнения всю нижнюю часть пролетного строения. Вместе с тем устройство верхней проезжей части, настилы которой образуют стенку верхних горизонтальных баков связей, обеспечивает жесткость пролетных строений в момент перевозки и установки их на плыву.

Получно с этими работами производится наращивание подвесок, которые используются временно как стойки для сборочных подмостей арки (фиг. 48). На этих подмостях осуществляется последовательная сборка арки и скрепление отдельных ее пакетов в общее сечение звеном крестового сечения. При сборке особое внимание должно быть обращено на тщательную притирку стыков. Выгиб отдельных брусков по верхней арке ввиду большого радиуса изгибающийся не встречает.

Изготовление поперечных баков на верхних частях нагелей производится с помощью вертикальных цепно-долбежных станков.

После окончания сборки пролетных строений последние освобождаются от временных связей между понтонами и от большей части сборочных подмостей арки. После откачивания воды понтоны всплывают, после чего собираются у берегов при-

<sup>1</sup> Определение «вертикальные» относится к нормальному положению прокладок в конструкции. При сборке они будут лежать в горизонтальных плоскостях.



Фиг. 48. Схема сборки моста на береговых подмостях (к фиг. 47)

летное строение моста перевозится к месту установки (фиг. 47, положение 2). В этом положении участки ферм жесткости пролетом 32 м между опорами на спаренных понтонах несут всю нагрузку от веса пролетного строения.

Момент установки пролетного строения на береговые устои являются наиболее ответственным во всем процессе сборки и установки моста (фиг. 49). При подходе пролетного строения к месту установки понтоны ставятся на якоря и расчаливаются канатами, идущими к береговым лебедкам (фиг. 47, положение 3).

Регулируя лебедками длину якорных цепей и береговых канатов, можно достигнуть надлежащей установки пролетного строения как в продольном, так и поперечном направлении. Вслед за этим производится опускание пят арок на готовые железобетонные подушки береговых опор.

Перемещение пролетного строения в вертикальном направлении достигается регулировкой водяного балласта понтонов-барж, для чего все они снабжаются мощными помпами, совместная работа которых обеспечивается специальными приспособлениями, регулирующими их производительность и работу.

Чтобы сделать процесс установки пролетного строения независимым от возможных колебаний горизонта воды в реке, в понтонах должен быть обеспечен резерв водяного балласта.

После установки пят арок на подушки береговых опор временные монтажные стыки нижнего пояса фермы жесткости постепенно и равномерно ослабляются, после чего вес пролетного строения целиком передается на сжатую арку.

Чтобы передать на арку всю постоянную нагрузку, проезжая часть верхнего яруса загружается равномерно по всей длине дополнительной нагрузкой, компенсирующей вес незаконченных проезжих частей и тротуаров, для чего могут быть использованы материалы, предназначенные для последующего устройства этих частей.

Вслед за этим производится устройство постоянных стыков нижнего пояса и скрепление их гвоздями крестового сечения.

После замыкания фермы жесткости из-под пролетного строения выводятся понтоны, собираются концевые, опорные части фермы жесткости (обозначенные на фиг. 49 пунктиром), заканчиваются устройство проезжих частей и тротуаров, обшивка арки и прочие отделочные работы.

### 8) Техничко-экономические данные

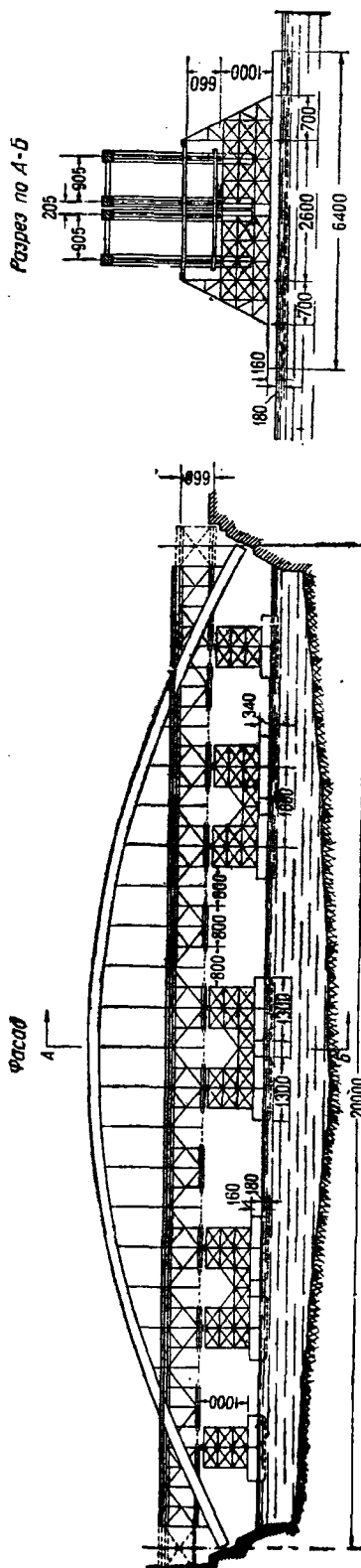
Ориентировочный расход материалов на 1 м фермы моста пролетом 200 м и на все пролетные строения приведен в табл. 2. Там же даны полученные при эскизном проектировании значения строительных коэффициентов для ферм.

На основе этих показателей установлены указанные в табл. 3 значения строительных коэффициентов для подобных систем, облегчающие при проектировании предварительное определение собственного веса несущей конструкции.

Весовой коэффициент по формуле ТУ и Н, считая полную загрузку моста временной эквивалентной нагрузкой  $p = 2 \text{ т/м}$ , получен равным:

$$k_{c. \text{ в}} = \frac{1000 g_{c. \text{ в}}}{ql} = 2,0.$$

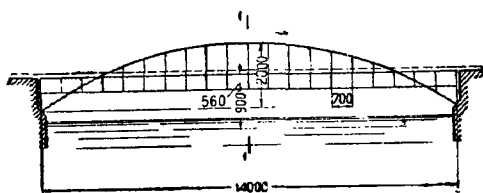
Описанный эскизный проект, иллюстрируя изложенные выше основные принципы проектирования деревянных мостов больших пролетов и подтверждая техническую возможность и целе-



Фиг. 49. Вид моста на плывучих подмостках в момент установки на береговые опоры (к фиг. 47)

сообразность применения дерева в мостах пролетом до 200 м, дает предварительный вспомога-

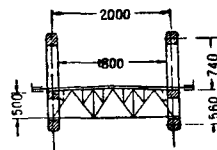
*Бюбодов вид*



Фиг. 50. Схема деревянного городского моста  $l = 140$  м, распорной комбинированной системы

тельный материал для проектировании сооружений подобного рода.

Вместе с тем следует указать, что двухъярусный мост имеет недостатки, заставляющие



Фиг. 51. Поперечное сечение моста (к фиг. 50)

Таблица 2

Расход материалов на пролетное строение моста  $l = 200$  м

| № п/п                     | Наименование частей фермы  | Лесоматериал (в том числе и фанера) |  |                        |          | Металл в кг | Полный вес на 1 пог. м | % металла по весу | Строит. коэффициент (по весу) |
|---------------------------|--|-------------------------------------|--|------------------------|----------|-------------|------------------------|-------------------|-------------------------------|
|                           |  | рабочее сечение в м <sup>3</sup>    | прокладки, накладки и пр. в м <sup>3</sup> | всего в м <sup>3</sup> | вес в кг |             |                        |                   |                               |
| <b>I. Фермы</b>           |  |                                     |  |                        |          |             |                        |                   |                               |
| 1                         | Арка . . . . .   | 2,57                                | 129  | 3,86                   | 2 120    | 125         | 2 245                  | 5,9               | 1,59                          |
| 2                         | Ферма жесткости . . . . .  |                                     |  |                        |          |             |                        |                   |                               |
|                           | Пояса (с отнесением к ним прокладок и металла узловых сопряжений) . . . . .                  | 0,551                               | 0,629                                      | 1,18                   | 650      | 112         | 1 045                  | 12                | 1,94                          |
| 3                         | Решетка . . . . .  | 0,428                               | 0,067                                      | 0,515                  | 283      | 15          | 308                    | 5,1               | 1,48                          |
|                           | Подвески . . . . .   | 0,335                               | 0,152                                      | 0,487 +                | 293      | 15          | 308                    | 5,1               | 1,48                          |
| 4                         | Распорки (верхние связи) . . . . .   | 0,048 +                             | 0,014                                      | + 0,036 (Ф)            | 40       | 2           | 42                     | 5                 | 1,30                          |
|                           |  | + 0,008 (Ф)                         |  | + 0,062 +              |          |             |                        |                   |                               |
|                           |  |                                     |  | + 0,008 (Ф)            |          |             |                        |                   |                               |
| 5                         | На 1 пог. м фермы . . . . .  | 3,932 +                             | 2,17                                       | 6,10                   | 3 386    | 254         | 3 640                  | 7,5               | 1,66                          |
|                           | Обшивки арок и подвесок . . . . .  | + 0,014 (Ф)                         | —  | + 0,044 (Ф)            | —        | 5           | 210                    | —                 | —                             |
| <b>II. Проезжая часть</b> |  |                                     |  |                        |          |             |                        |                   |                               |
| 6                         | Настилы и пояса ветровых балок . . . . .   | —                                   | —  | 2,11                   | 1 162    | 46          | 1 208                  | 4,0               | При ширин. трот. 2,0 м        |
| 7                         | Продольные и поперечные балки . . . . .  | —                                   | —  | 1,65                   | 908      | 27          | 935                    | 3,0               |                               |
| 8                         | Деревянная торцовая мостовая, настил тротуаров, гидрорывляция, отбивные брусья и пр. . . . . | —                                   | —  | 3,75                   | 982      | 30          | 1 022                  | 3,0               | При деревянных тротуарах      |
|                           | Итого на 1 пог. м фермы (среднее значение) . . . . .   | —                                   | —  | —                      | —        | 103         | 3 165                  | —                 | —                             |
|                           | Всего на 1 пог. м фермы (среднее значение) . . . . .   | —                                   | —  | 9,851 + 0,044 (Ф)      | —        | 362         | 7 015                  | 5,1               | —                             |
|                           | Всего на 1 пог. м моста (4 фермы) . . . . .  | —                                   | —  | —                      | —        | 1 448       | 28 060                 | 5,1               | —                             |

На все пролетное строение: лесоматериала—7 900 м<sup>3</sup> (пилен.); металла — 290 т; прочего материала (торцовая мостовая, гольцемент и пр.) — 985 т.

1 Указана кубатура только рабочих элементов моста.



предпочтень ему при пролетах до 140—150 м мост одноярусный.

Такой мост, изображенный схематически на фиг. 50 и 51, имеет по сравнению с двухъярусным следующие преимущества:

- 1) обладает большой поперечной жесткостью и допускает более надежное закрепление жестких подвесок;
- 2) представляет меньшую пожарную опасность;
- 3) избавляет от необходимости устройства средних ферм, разделяющих проезжую часть и занимающих значительную площадь.

Таблица 3

| Наименование конструкции или части ее | Арка      | Ферма жесткости | Подвески  | Распорная комбинированная ферма (в целом) |
|---------------------------------------|-----------|-----------------|-----------|---|
| Строительный коэффициент $k_{стр}$    | 1,65—1,75 | 1,95—2,00       | 1,55—1,65 | 1,70—1,80 (среднее значение)              |

### 6. Мост пролетом $l = 84$ м под автогужевую дорогу

#### 1) Общие данные

На фиг. 52 представлен мост под автогужевую дорогу пролетом 80 м (в свету).

Фермы моста запроектированы в виде балочной безраспорной комбинированной системы (типа Лангера) по схеме фиг. 6, в. Генеральные размеры: пролет  $l = 84$  м, стрела подъема арки  $f = 12,0$  м,  $\frac{f}{l} = \frac{1}{7}$ ; высота фермы жесткости  $h = 3,0$  м;  $\frac{h}{l} = \frac{1}{28}$ . Архитектурный строительный подъем  $\frac{1}{200}l = 0,42$  м, что дает продольный уклон (средний)  $i = 1\%$ . Помимо архитектурного подъема ферме жесткости придан конструктивный строительный подъем <sup>1</sup>.

Габарит моста Г4 (фиг. 53) назначен в соответствии с ТУ и Н Цудортранса для двухпутного автогрузового движения.

Расчетные нагрузки: временная вертикальная нагрузка принята по классу Н8 ТУ и Н Цудортранса: ветровая нагрузка  $P_v = 130$  кг/м<sup>2</sup> — по Единым нормам строительного проектирования.

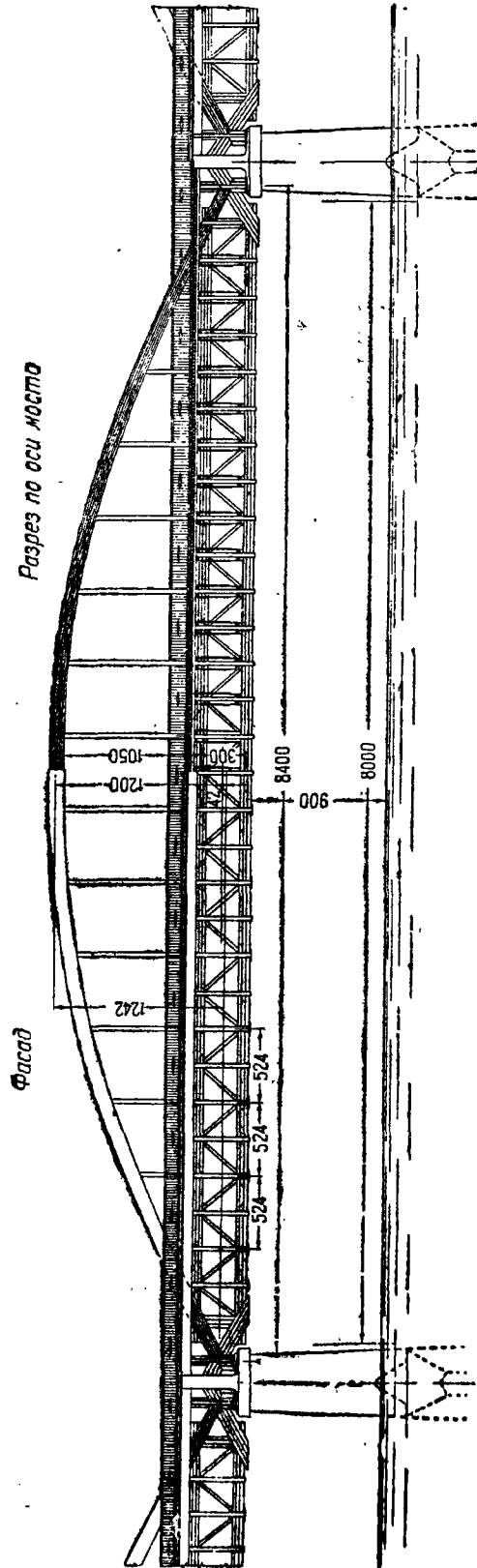
Материал сооружения — воздушно-сухая сосна марки 0.

#### 2) Конструкция проезжей части

Конструкция проезжей части моста запроектирована в соответствии с изложенными выше общими принципами.

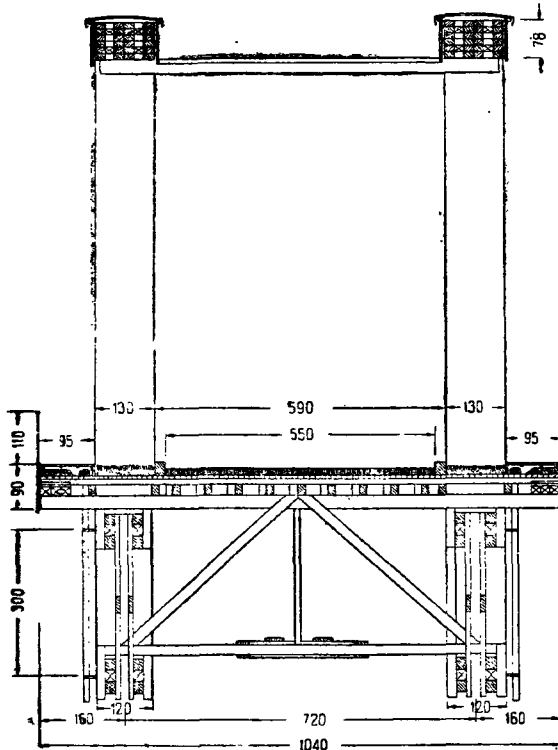
Верхнее строение проезжей части, включая одежду ее, гидроизоляционный слой, перекрестный настил и продольные балки, вполне аналогичны конструкции, принятой в проекте двухъярусного моста пролетом 200 м, с той только разницей, что приняты несколько иные размеры тор-

<sup>1</sup> Подробнее см. стр. 843.



Фиг. 52. Общий вид деревянного моста  $l = 84$  м под автогужевую дорогу

ца, а именно:  $8 \times 10 \times 22$  см (фиг. 54). Так же как в мосте пролетом 200 м, двойной перекрестный настил помимо прямого назначения —



Фиг. 53. Поперечный разрез моста  $l = 84$  м под автомобильную дорогу

служить основой под гидроизоляционный ковер — служит стеной горизонтальной двутавровой балки связей по верхнему поясу фермы жесткости. Для отвода воды проезжей части приданы уклоны: поперечный — 2% и продольный 1% (от середины моста к опорам). Под тротуарами через 10,45 м устроены водоспуски (по типу плоских крыш), с помощью которых вода отводится за пределы пролетного строения.

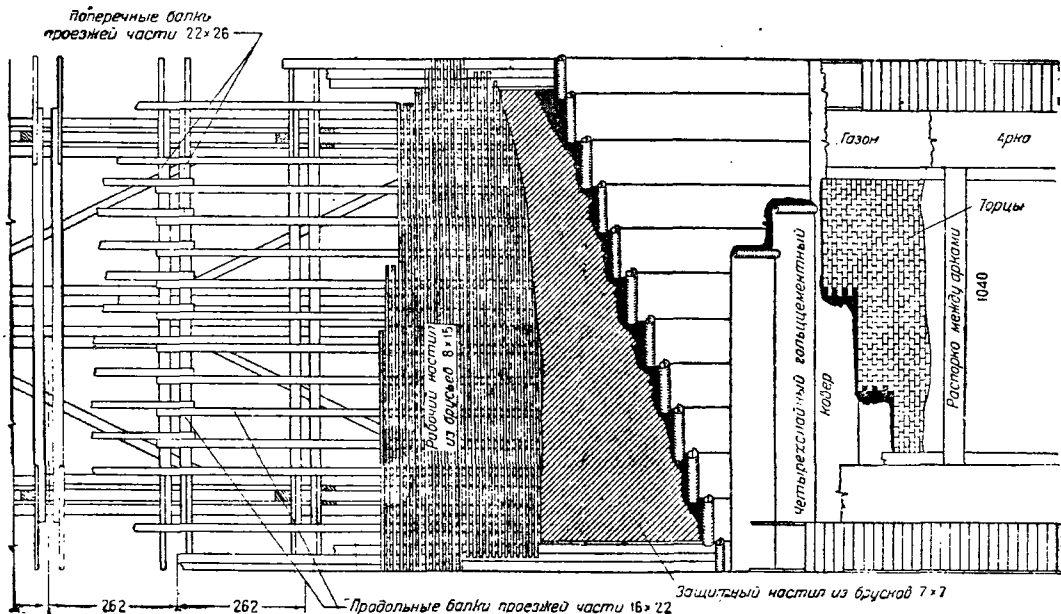
Продольные балки проезжей части уложены непосредственно на верхний пояс сквозных поперечных балок (фиг. 55). Расстояние между поперечными балками равно длине полупанели — 2,62 м. Верхний пояс поперечных балок состоит из двух брусков сечением  $22 \times 26$  м, охватывающих с двух сторон подвески или промежуточные стойки и прикрепленных зубчато-кольцевыми шпонками к прокладкам, заложеным между двумя ветвями подвесок или стоек. Этим достигаются центровка опорной реакции верхнего пояса поперечных балок и равномерная передача ее на оба бруса верхних поясов фермы жесткости.

Верхний пояс сквозных поперечных балок поддерживается посредине двумя раскосами, образующими вместе с затяжкой треугольную систему и передающими нагрузку среднего узла поперечной балки на нижние пояса главных ферм, и работает как двухпролетный неразрезной, чем значительно облегчается его сечение.

Раскосы сквозной поперечной балки состоят из четырех досок сечением  $6 \times 20$  см каждая; затяжка (нижний пояс) — из досок того же сечения.

Все узлы и стыки сквозной поперечной балки решены на зубчато-кольцевых шпонках диаметром 160 мм. В прокладках составных элементов поставлены шпонки диаметром 120 мм.

По затяжкам вдоль моста уложены ходовые доски, обеспечивающие возможность периодиче-



Фиг. 54. Детали проезжей части моста  $l = 84$  м

Примечание. В опорных узлах арки не показаны

ского наблюдения за состоянием моста во время его эксплуатации.

Помимо своих непосредственных функций сквозные поперечные балки служат ригелями поперечных полурам (см. ниже).

### 3) Несущая конструкция

Каждая из двух комбинированных ферм моста состоит из гибкой арки и соединенной с ней

Распор  $H_{\max} = 246 \text{ т.}$

Усилие в арке (в третьей панели)  $S_{\max} = 268 \text{ т.}$

Усилие в подвеске  $Z_{\max} = 17,5 \text{ т.}$

Усилие в поясах фермы жесткости:

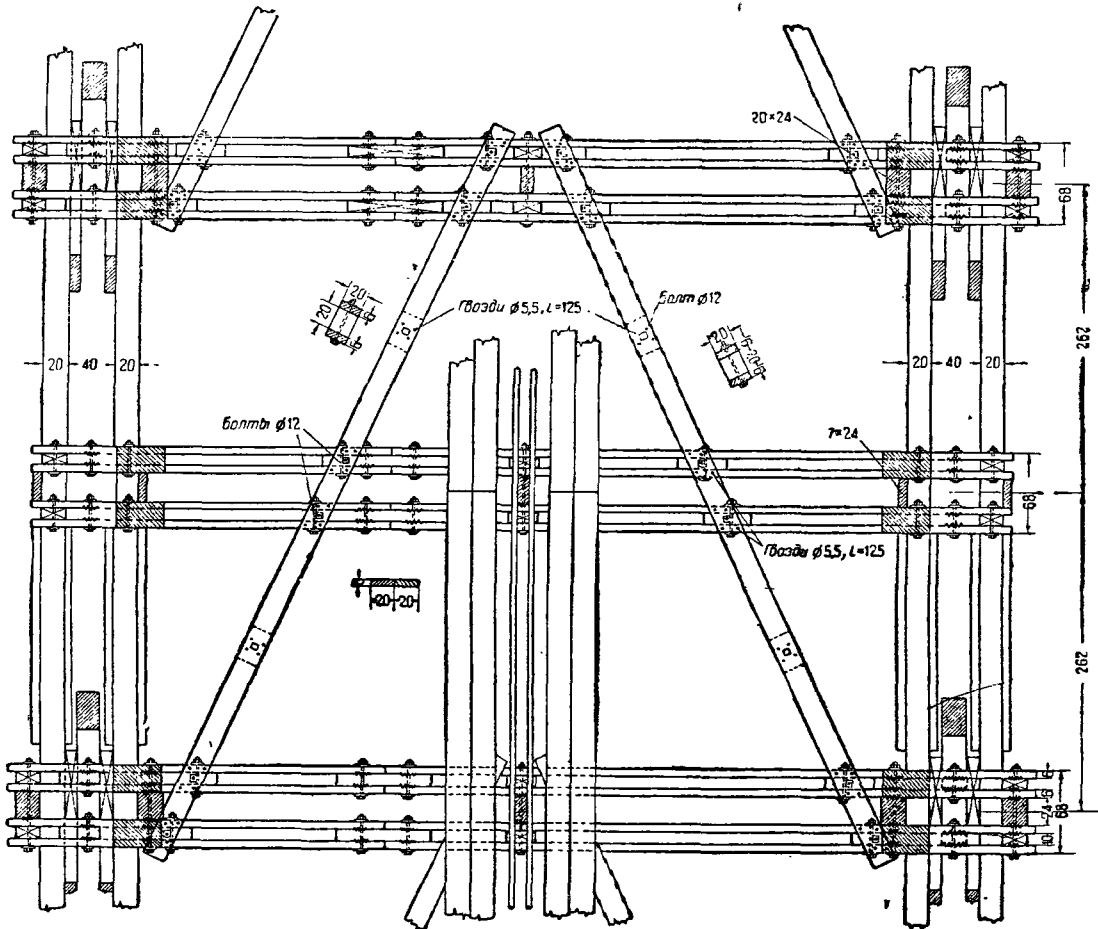
верхнем  $O = +147,5 \text{ т.}$

нижнем  $U = +157,0 \text{ т.}$

Усилие в раскосах:

наибольшее сжимающее  $D = -20 \text{ т.}$

наибольшее растягивающее  $D = +17,7 \text{ т.}$



Фиг. 55. Сивозная поперечная балка (разрез по А — Б, см. фиг. 69)

подвесками фермы жесткости с треугольной решеткой.

Ввиду того что фермам в процессе сборки придается конструктивный строительный подъем (см. ниже), расчет их произведен в предположении, что вся постоянная нагрузка передается на арку.

Линия влияния распора  $H$  построена на основании приближенной ф-лы (18) и табл. 1.

Усилия в стальных элементах от временной нагрузки определены по линиям влияния с заменой поезда грузовиков  $N8$  эквивалентной нагрузкой.

Наибольшие усилия в основных элементах фермы, полученные при невыгоднейшем расположении нагрузки, имеют следующие значения:

Арки запроектированы составного сечения из гнутых брусев со стыками вразбежку с плотной приторцовкой последних.

Каждая арка (фиг. 56) состоит из четырех ветвей шириной  $20 \text{ см}$  с двумя зазорами между ними также по  $20 \text{ см}$ , что дает полную ширину арки  $1,20 \text{ м}$ .

Зазоры служат для пропуска брусев подвесок.

Каждая ветвь арки составлена из шести брусев сечением  $13 \times 20 \text{ см}$  и имеет полную высоту  $78 \text{ см}$ .

Брусья арки как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении скреплены связями (через прокладки).

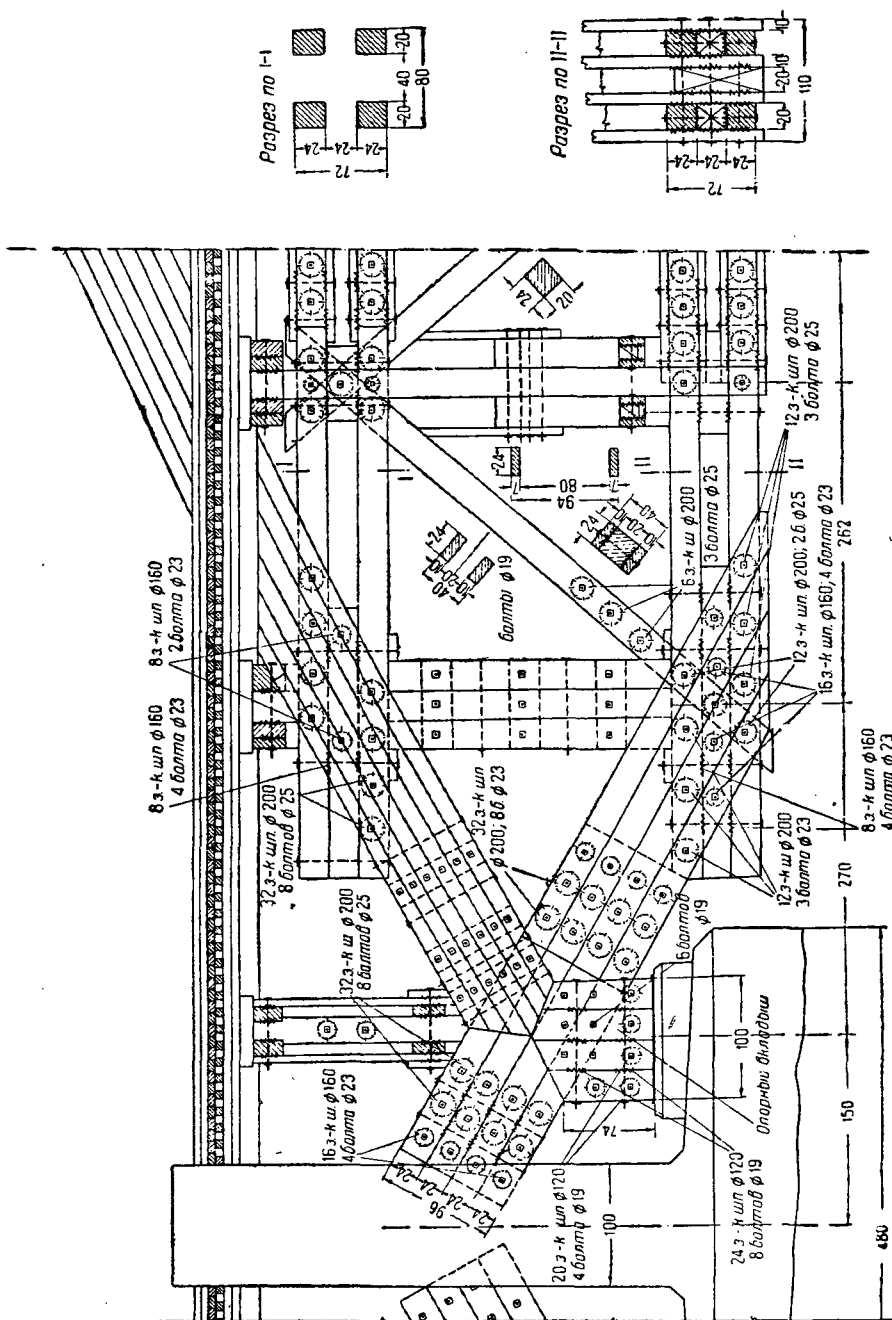
Связи запроектированы в двух вариантах:

1) гвозди крестового сечения (фиг. 56 и 57);





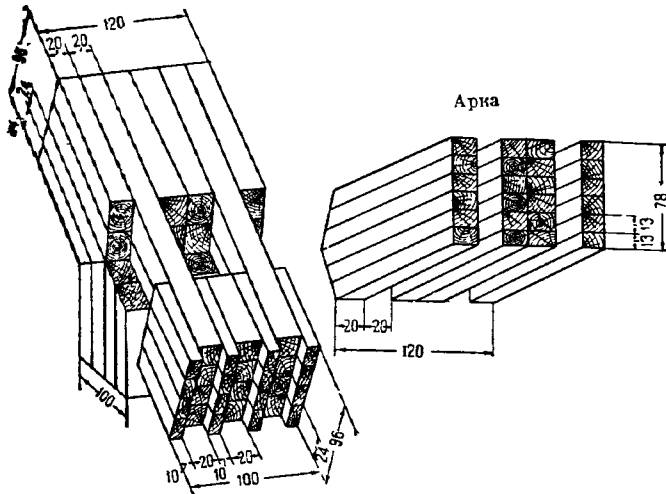




Фиг. 63а. Опорный узел фермы (к фиг. 52)

Между опорными уалами ферм помещается вертикальная деревянная рама, обеспечивающая поперечную жесткость пролетного строения (фиг. 63).

Подвески в виде коробчатых балок с фанерными стенками образуют вместе со сквозными поперечными балками проезжей части жесткие

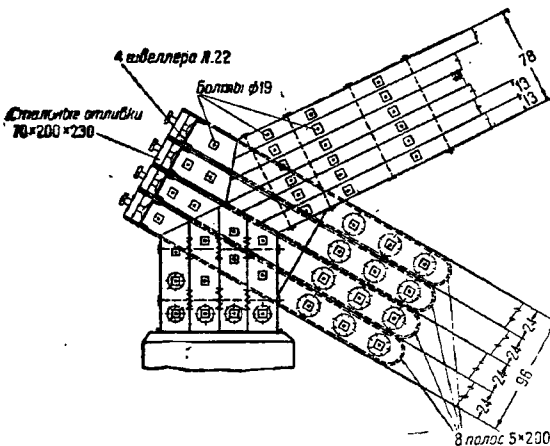


Фиг. 63. Аксонометрия опорного узла (к Фиг. 63а)

полурамы, обеспечивающие устойчивость арок и передачу ветровой нагрузки с арок на связи моста.

**Проверка устойчивости арок**

Проверка устойчивости арок, закрепленных на подвесках как на упругих опорах, и расчет самих подвесок могут быть с достаточной точностью выполнены по нижеприведенному методу.



Фиг. 64. Вариант опорного узла с металлическими хомутами и натяжными болтами (к фиг. 52)

Ввиду криволинейного очертания арки приближенно принимаем некоторую среднюю высоту  $h_1$  подвески, которая может быть определена как среднее арифметическое из длин подвесок в средней половине пролета моста (фиг. 65).

<sup>1</sup> Метод предложен проф. Тимошенко С. П.; погрешности расчета идут в запас прочности.

Для рассматриваемой средней высоты подвески определяем прогиб верхнего, свободного ее конца под действием силы  $P = 1$ , приложенной к этому концу. Прогиб этот складывается из двух величин: 1) прогиба  $\delta_1$  от деформаций самой подвески и 2) прогиба  $\delta_2$  ее конца вследствие деформаций поперечной балки в месте заделки подвески:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2. \tag{41}$$

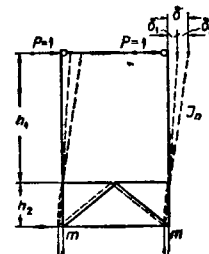
В соответствии с конструкцией поперечных полурам:

$$\delta_1 = \frac{h_1^2 (h_1 + h_2)}{3EI_n} \tag{42}$$

где  $h_1$  и  $h_2$  — размеры подвески,  $I_n$  — момент инерции коробчатого сечения подвески.

Вторая составляющая прогиба по общей теореме Мора:

$$\delta_2 = \sum \frac{\bar{N}^2 l}{EF}, \tag{43}$$



Фиг. 65. Схема поперечной полурамы моста  $l = 84$  м

где  $\bar{N}$  — усилия в элементах сквозной поперечной балки от единичной нагрузки  $P = 1$ ;  $l, E, F$  — длина, модуль упругости и площадь элементов сквозной поперечной балки.

Имея прогиб  $\delta$  конца подвески, можно определить коэффициент отпорности среды  $k$  (силу, смещающую конец подвески на единицу длины), делая допущения, что силы отпорности приложены не в местах сопряжений арки с подвесками, а непрерывно, по всей длине арки:

$$k = \frac{1}{\delta a}, \tag{44}$$

где  $a$  — длина панели (расстояние между подвесками). Далее, определяем величину:

$$B^2 = -\frac{kl_0^3}{16EI_n} \tag{45}$$

где  $l_0 = s$  — свободная длина дуги арки между точками ее пересечения с проезжей частью моста;

$k$  — коэффициент, определяемый по Ф-ле (44);

$I_n$  — момент инерции поперечного сечения арки относительно вертикальной оси  $y-y$ .

Зная  $B^2$ , по табл. 4 определяем число  $m$  полуоволн, на которое подразделяется арка при ее выпучивании; найди  $m$ , получаем коэффициент длины  $\mu$  по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{m^2 + \frac{16B^2}{m^2\pi^4}}} \tag{46}$$

и находим расчетную длину арки на продольный изгиб из плоскости фермы:

$$l_y = \mu l_0. \tag{47}$$

Далее расчет арки производится по обычным правилам расчета на продольный изгиб брусев составного сечения.

Таблица 4

|       |       |       |       |       |       |        |        |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| $B^2$ | 24,35 | 219,2 | 876,7 | 2 435 | 5 479 | 10 739 | 19 091 |
| $m$   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6      | 7      |



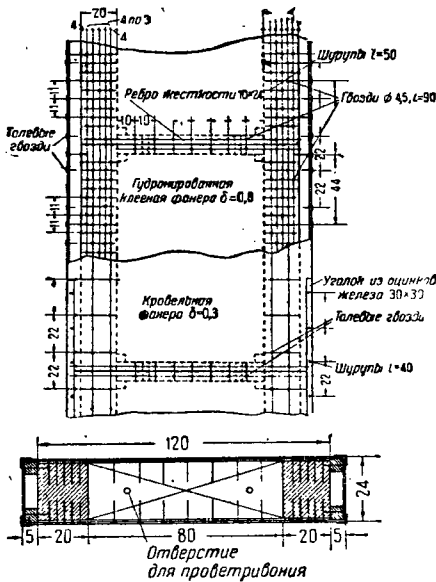
Расчет подвесок

Определение нормальных напряжений, действующих в поперечном сечении подвески, расчет стыка и гвоздевого забор для прикрепления фанерной стенки могут быть выполнены по принципу равнопрочности на основании следующих соображений.

Задавшись сечением подвески и получив при этой жесткости подвесок удовлетворительные результаты при проверке арки на выпучивание из плоскости фермы, определяем на основании принятого сечения подвески наибольший изгибающий момент, который может быть воспринят подвеской в опасном сечении на уровне ее закрепления в верхней проезжей части:

$$M_{max} = [n] W, \quad (48)$$

где  $[n]$  — допускаемое напряжение на сжатие;  
 $W = \frac{W_{netto}}{1,1 k_{сдв}}$  — расчетный момент сопротивления составного сечения.



Фиг. 66. Поперечное сечение подвески (масштаб сечения искажен)

При высоте подвески  $h$ , (расстояние от опасного сечения до конца подвески) получим условную силу  $P_p$ , вызывающую изгиб подвески по формуле:

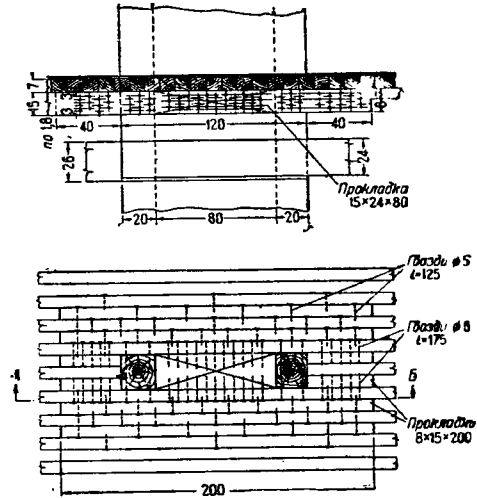
$$P_p = \frac{M_{max}}{h}, \quad (49)$$

к которой в учетывая кроме того основные растягивающие усилия в подвеске от вертикальной нагрузки и действия ветра, можем рассчитать стык и определять сдвигающую силу в любом поперечном сечении подвески.

Расстояние между подвесками в данном проекте равно длине панели — 5,24 м, каждая подвеска составлена из двух брусьев  $20 \times 24$  см (фиг. 66). Стенка выполнена из клееной фанеры толщиной  $\delta = 8$  мм и прикрепляется к основным брусьям при помощи гвоздей диаметром 4,5 мм, длиной 90 мм. В некоторых местах для обеспечения надежной связи между фанерой и брусьями гвозди заменены шурупами.

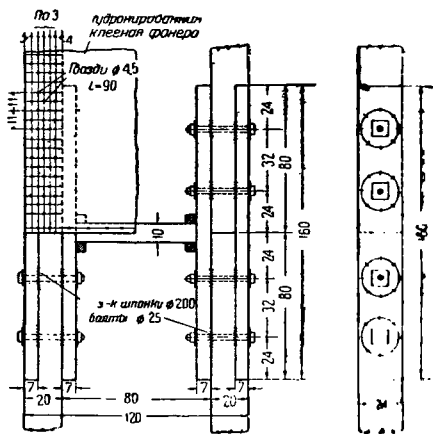
Брусья подвесок обхватывают с двух сторон пояса фермы жесткости и прикрепляются к ним на зубчато-кольцевых шпонках диаметром 200 мм; кроме того они закрепляются гвоздями в рабочем настиле (фиг. 67) и надежно связываются с поясами поперечной балки (фиг. 55). Вместе с поперечными сквозными балками проезжей части подвески образуют полурамы, обеспечивающие поперечную жесткость пролетного сечения моста.

Ввиду того что положение брусьев пояса фермы жесткости соответствует по вертикали шарнам в арке, а подвески охватывают пояс фермы, для прикрепления подвесок к арке сечение подвесок менется под аркой и во всех подвесках устраивается стык (фиг. 56). Зазор между брусьями подвески, входящими в зазоры арки, заполняется коротышами.



Фиг. 67. Деталь закрепления подвески в рабочем настиле (к фиг. 52)

Подвески прикрепляются к арке зубчато-кольцевыми шпонками диаметром 120 мм. Кроме описанных выше стыков средние, наиболее длинные, подвески имеют промежуточные стыки, перекры-



Фиг. 68. Деталь стыка подвески (и фиг. 62)

ваемые накладками сечением  $7 \times 20$  см (фиг. 68). Наружные накладки врезаются в брусья подвесок.

Второстепенные стойки, передающие нагрузку от сквозных поперечных балок верхним узлом фермы жесткости, усиленные из двух досок сечением  $7 \times 24$  см (фиг. 62), располагаются в промежуточных (между подвесками) узлах и прикрепляются к поясам



фермы жесткости на вуччато-кольцевых шпонках, охватывая брусья поясов снаружи аналогично подвескам.

4) Связи

Основная система связей по верхнему поясу фермы жесткости (фиг. 53—55) запроектирована в виде двутавровой горизонтальной балки, стенкой которой служит перекрестный настил проезжей части. Пояса ветровой балки составлены из 12 досок сечением 6 × 20 см каждая; половина этих досок является рабочими, остальные служат для перекрытия стыков.

Соединение элементов перекрестного настила с поясами должно быть рассчитано на передачу усилий, действующих в поясах ветровой фермы. Соединения элементов перекрестного настила между собой должно обеспечивать перекрытие стыков этих элементов.

Связи по верхнему поясу фермы жесткости воспринимают давление ветра на все пролетное строение и передают его вертикальным железобетонным рамам, расположенным в верхней части каменных опор (фиг. 63).

При отсутствии конструктивного строительного подъема на арку передается только часть постоянной нагрузки, остальная часть ее передается на ферму жесткости. Величина распора в этом случае определяется по формуле:

$$H = \frac{ql^2}{8f} \gamma,$$

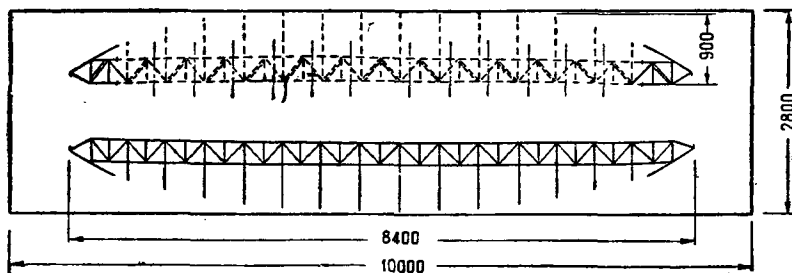
где  $\gamma$  — коэффициент распределения нагрузки. Чтобы передать на арку всю постоянную нагрузку, необходимо загрузить ее дополнительной нагрузкой, которая может быть выражена как часть постоянной нагрузки путем умножения последней на некоторый коэффициент  $\beta$ .

Эту дополнительную нагрузку можно создать за счет предварительного выгиба фермы жесткости вверх и присоединения ее в таком напряженном состоянии к арке, если величину стрелы выгиба, которая и представляет собой величину конструктивного строительного подъема, принять равной прогибу фермы жесткости под нагрузкой  $\beta g$ .

Коэффициент

$$\beta = \frac{1-\gamma}{\gamma};$$

Опорные узлы собираются отдельно



Фиг. 70. Сборка фермы жесткости на бойке (к фиг. 52)

Другая (второстепенная) система горизонтальных полураскосных связей для увеличения жесткости пролетного строения (фиг. 69) расположена в плоскости нижнего пояса фермы жесткости.

В верхней части пролетного строения (над проезжей частью) арки связаны между собой только распорками и решетчатыми связями не имеют. Давление ветра на эту часть пролетного строения воспринимается жесткими подвесками, роль которых в обеспечении поперечной жесткости пролетного строения подробно выяснена выше.

5) Сборка и установка

Сборка пролетного строения может быть осуществлена различными способами: 1) на месте в вертикальном положении, на подмостях, установленных в русле реки, или 2) на стороне с последующей надвигной или подвальной его. Последний способ, описание которого дано ниже, может иметь преимущества в случае большого количества пролетов, затруднительности (по тем или иным причинам) устройства подмостей в русле реки и т. п.

Одним из основных моментов сборки является устройство конструктивного строительного подъема, величина которого приближенно может быть определена на основании следующих соображений<sup>1</sup>.

величина конструктивного строительного подъема:

$$f_{стр} = \frac{5}{384} \cdot \frac{\beta g l^4}{EI}.$$

Здесь  $l$  — пролет фермы,  $I$  — момент инерции поясов фермы жесткости, определяемый по формуле:

$$I = \frac{Fh^2}{2},$$

где  $h$  — высота фермы, а  $F$  — площадь пояса,  $l$  — пролет фермы.

Помимо конструктивного строительного подъема фермам в процессе сборки придается без насильственного натяжения строительный подъем  $f_{сб}$ , равный по величине прогибу ферм от обмятия стыков и от деформаций связей в стыках и узлах системы.

Указания о способах приближенного определения  $f_{сб}$  даны выше.

Принятый метод сборки сводится к следующему.

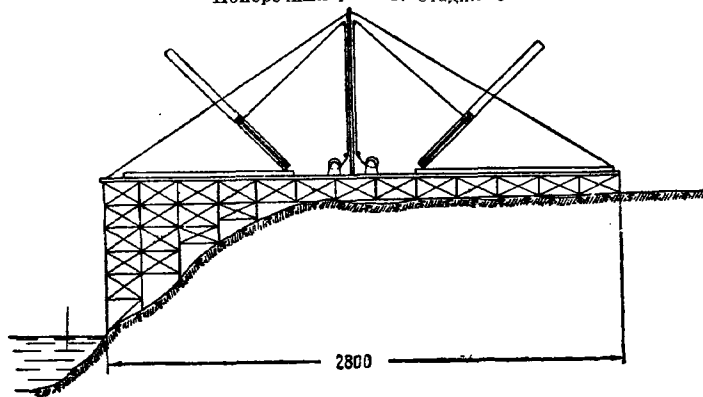
На берегу (желательно крутом) устраивается боек с размерами, достаточными для одновременной сборки двух ферм. Фермы жесткости с частью подвесок (до промежуточного стыка) собираются на бойке в горизонтальном положении (фиг. 70).

<sup>1</sup> Коэффициент  $\beta$  может быть получен из равенства

$$\frac{ql^2}{8f} = \frac{ql^2}{8f} \gamma + \frac{\beta g l^4}{8f} \gamma.$$

<sup>1</sup> Все последующие рассуждения предполагают только упругие деформации системы.

Поперечный разрез. Стадия 3



Фиг. 71. Подъем и установка ферм жесткости в вертикальное положение (к Фиг. 70)

Таблица 5

Технико-экономические показатели на 1 пог. м фермы и на все пролетное строение моста пролетом  $l = 84$  м комбинированной системы (типа Лангера) под автогужевую дорогу

| № п/п                                     | Наименование элементов моста                           | Лесоматериал (в том числе и фанера)       |   |                               |  | Металл вес в кг | Полный вес в кг | Отношение веса металла к полному весу | Строит. коэффициент по весу |
|---|--|---|---|-------------------------------|--|-----------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------|
|   |  | основные элементы, объем в м <sup>3</sup> | накладки, прокладки, объем в м <sup>3</sup> | полный объем в м <sup>3</sup> | вес в кг при $\gamma = 550 \text{ кг/м}^3$ |                 |                 |                                       |                             |
| 1   | 2  | 3   | 4   | 5                             | 6  | 7               | 8               | 9                                     | 10                          |
| <b>I. Ферма</b>                           |  |   |   |                               |  |                 |                 |                                       |                             |
| 1   | Арка . . . . .   | 0,66                                      | 0,10  | 0,76                          | 418  | 36              | 454             | 7,93                                  | 1,25                        |
| 2   | Ферма жесткости (пояса и решетки) . . . . .            | 0,56                                      | 0,17  | 0,73                          | 402  | 85              | 487             | 17,4                                  | 1,52                        |
| 3   | Подвески . . . . .                                     | 0,22                                      | 0,05  | 0,27                          | 149  | 17              | 166             | 10,25                                 | 1,37                        |
| Итого ферма без обшивки . . . . .         |  | 1,44                                      | 0,32  | 1,76                          | 969  | 138             | 1107            | 12,5                                  | 1,40                        |
| 4   | Обшивка: а) арка . . . . .                             | —   | —   | 0,04                          | 22   | 5               | 27              | 18,5                                  | —                           |
|   | б) подвесок . . . . .                                  | —   | —   | 0,03                          | 17   | 1               | 18              | 5,55                                  | —                           |
| Итого ферма с обшивкой . . . . .          |  | 1,44                                      | —   | 1,83                          | 1008                                       | 144             | 1152            | 12,5                                  | 1,46                        |
| <b>II. Проезжая часть и связи</b>         |  |   |   |                               |  |                 |                 |                                       |                             |
| 5   | Настилы и пояса ветровой балки . . . . .               | 0,91                                      | —   | 0,91                          | 501  | 9               | 510             | 1,77                                  | —                           |
| 6   | Распорки: а) рабочее сечение . . . . .                 | 0,03                                      | —   | 0,03                          | 17   | 1               | 18              | 5,55                                  | —                           |
|   | б) обшивка . . . . .                                   | —   | —   | 0,01                          | 6  | 1               | 7               | 14,3                                  | —                           |
| 7   | Нижние связи . . . . .                                 | 0,04                                      | 0,01  | 0,05                          | 28   | 1               | 29              | 3,45                                  | —                           |
| 8   | Продольные балки . . . . .                             | 0,23                                      | —   | 0,23                          | 127  | 13              | 140             | 9,3                                   | —                           |
| 9   | Связные поперечные балки . . . . .                     | 0,41                                      | 0,08  | 0,49                          | 270  | 20              | 290             | 6,9                                   | —                           |
| 10  | Деревянная торцовая мостовая . . . . .                 | —   | —   | 0,29                          | 203  | —               | 203             | —                                     | —                           |
| 11  | Гольцементный ковер . . . . .                          | —   | —   | —                             | —  | —               | 56              | —                                     | —                           |
| 12  | Слой земли и песка для газонов толщиной 4 см . . . . . | —   | —   | —                             | —  | —               | 77              | —                                     | —                           |
| 13  | Настил тротуаров, отбойные брусья и пр. . . . .        | 0,21                                      | —   | 0,21                          | 115  | 8               | 123             | 6,5                                   | —                           |
| Итого на проезжую часть и связи . . . . . |  | 1,83                                      | 0,09  | 2,22                          | 1267                                       | 53              | 1453            | 3,65                                  | —                           |
| Всего на 1 пог. м фермы . . . . .         |  | 3,27                                      | 0,41  | 4,05                          | 2275                                       | 197             | 2005            | 7,56                                  | 1,45                        |
| Всего на 1 пог. м моста . . . . .         |  | 6,54                                      | 0,82  | 8,10                          | 4550                                       | 394             | 5210            | 7,56                                  | 1,45                        |

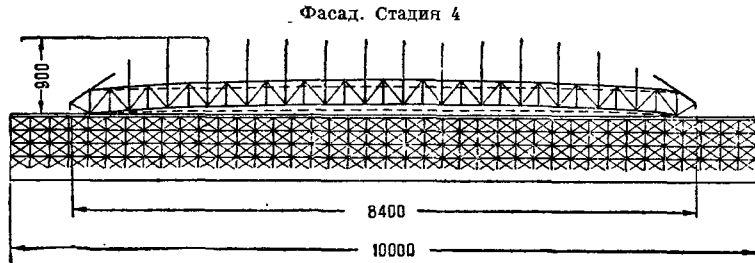
На все пролетное строение: лесоматериала — 618,0 м<sup>3</sup> (шплен.); металла — 33,1 т; прочий материал (торцовая мостовая, гольцемент и пр.) — 84,4 т.

Работа начинается со сборки и запрессовки опорных узлов, нижних частей арки и прилегающей части фермы жесткости (жирные линии на фиг. 70).

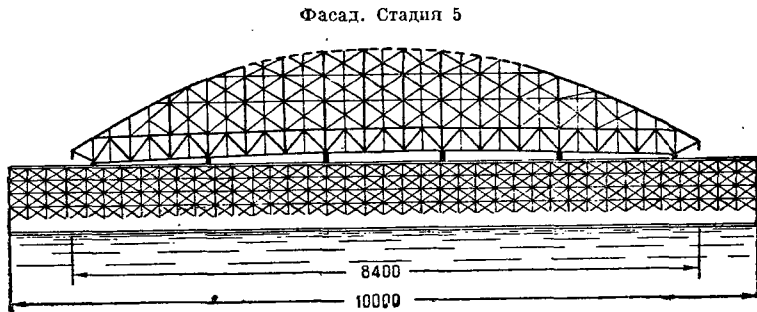
Далее собираются остальные части фермы жесткости — от опор к середине моста — отдель-

но в виде перекоса соединяемых элементов произойти не может.

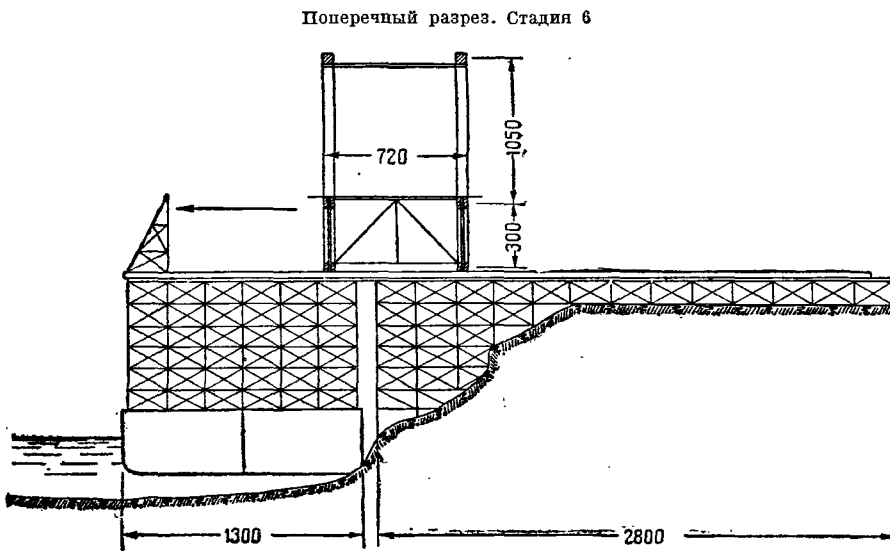
Узлы на зубчато-кольцевых шпонках обжимаются специальными мощными принособлечениями; запрессовка небольших пакетов (стыки поясов, двойные раскосы и т. п.) производится



Фиг. 72. Придание фермам жесткости конструктивного строительного подъема (к Фиг. 52)



Фиг. 73. Сборка арок (к Фиг. 52)



Фиг. 74. Передвижка пролетного строения с береговых подмостей (бойка) на барку-поптон (к Фиг. 52)

ными участками. На протяжении каждого участка запрессовка шпонок производится одновременно, причем участок одновременной запрессовки обязательно заканчивается раскосом, состоящим из одного бруса (одноветвевой раскос). При этом порядке никаких затруднений в

стяжками болтами. При соединении частей фермы ей придается строительный подъем  $f_{\text{сод}}$ .

После сборки фермы жесткости с вышущими подвесками поднимаются в вертикальное положение при помощи нескольких установленных между ними мацт (или козлов) (фиг. 71).

Технико-экономические показатели деревянного и металлического

| Система   | Расчетный пролет | Габарит и класс нагрузки   | Эквив. нагрузки в т/м | Р а с х о д м а                |     |                |    |                |     |  |     |                |       |       |      |
|---|------------------|--|-----------------------|--------------------------------|-----|----------------|----|----------------|-----|--|-----|----------------|-------|-------|------|
|   |                  |  |                       | Лесоматериал и прочий материал |     |                |    |                |     |  |     |                |       |       |      |
|   |                  |  |                       | ферма                          |     | связи          |    | проезжая часть |     | одежда проезжей части, обшивка, настил и пр. |     | итого          |       | ферма |      |
|   |                  |  |                       | м <sup>3</sup>                 | кг  | м <sup>3</sup> | кг | м <sup>3</sup> | кг  | м <sup>3</sup>                               | кг  | м <sup>3</sup> | кг    | кг    | %    |
| Деревянное пролетное строение с фермами комбиниров. безрац. системы (типа Лангера)  | 84               | Г4 Н8  | 1,10                  | 1,76                           | 970 | 0,08           | 44 | 1,63           | 900 | —  | 496 | 3,47           | 2 410 | 183   | 12,5 |
| Металлическое пролетное строение с балочными фермами с полигональным верхним поясом | 81,60            | Ширина проезда 650 м<br>Ширина тротуара 1,69 м<br>I класса по нормам 1927 г. | 1,80                  | —                              | —   | —              | —  | —              | —   | —  | 723 | —              | 723   | 1 290 | —    |

Установленным в вертикальном положении фермам жесткости придается дополнительный упругий подъем  $f_{уп}$ , величина которого определяется на основании изложенного выше (фиг. 72). Этот подъем может быть придан ферме путем подлинки ее средней части при неподвижно закрепленных концах либо путем опускания вниз концевых частей при зафиксированном положении середины фермы; последнее предпочтительнее.

Далее, наращиваются подвески, устраиваются на них подмости для сборки арок и производится сборка последних (фиг. 73), начиная с опорных узлов, в которых при изготовлении их брусья арок выпускаются вразбежку. Одновременно устраивается проезжая часть и производится покрытие ее настилов гольцементным ковром. Проезжая часть создает жесткость в поперечном направлении и защищает в дальнейшем от увлажнения всю вижнюю часть пролетного строения.

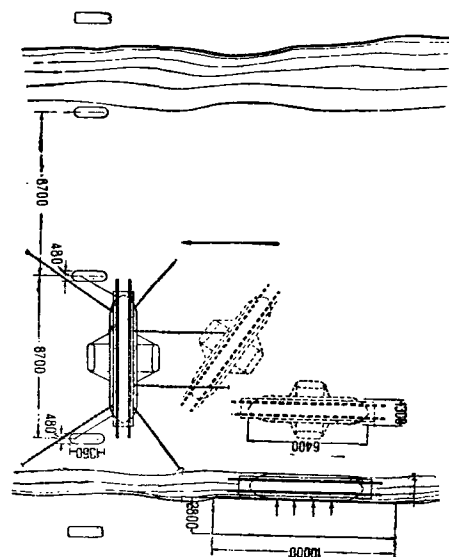
По окончании сборки пролетное строение передвигается по рельсовым путям на подмости, установленные на барже-понтоне (фиг. 74). Перемещение этих подмостей в вертикальном направлении достигается регулировкой водяного балласта баржи-понтонa, для чего последняя снабжается мощными помпами.

Пролетное строение, установленное на понтоне, перевозится при помощи катеров, моторных лодок и т. п. к месту установки (фиг. 75).

При подводке пролетного строения к мостовым опорам понтон ставится на якоря и дальнейшая установка пролетного строения на опоры производится путем регулирования при помощи лебедок длины якорных цепей.

После установки пролетного строения на опоры (фиг. 76), которая в вертикальном направлении осуществляется регулированием водяного балласта в понтонах, возводится железобетонная рама, служащая опорой для горизонтальных

План. Стадия 7



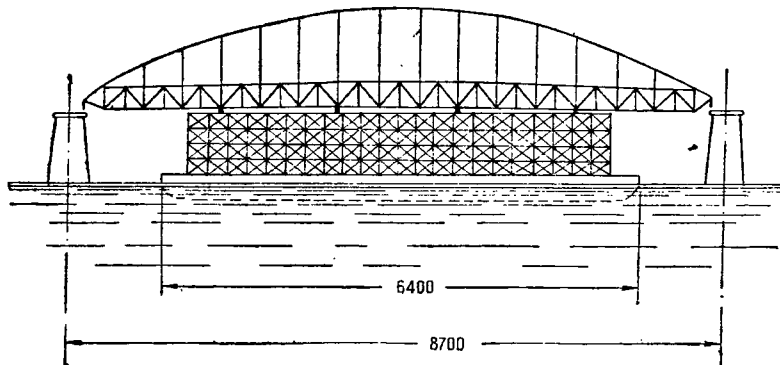
Фиг. 75. Перевозка пролетного строения на понтоне к месту установки (к фиг. 52)

Таблица 6

Пролетных строений под автогужевую дорогу на 1 пог. м фермы моста

| Т е р н а л а |      |                |      |  |      |       |      | Вес в кг на 1 пог. м фермы |       |                  |  |       | Полная нагрузка в кг на 1 пог. м. | Весовой коэффициент | Примечание   |
|---------------|------|----------------|------|--|------|-------|------|----------------------------|-------|------------------|--|-------|-----------------------------------|---------------------|--|
| М е т а л л   |      |                |      |  |      |       |      | ферма (собственный вес)    | связи | проез- жая часть | одежда проезжей части, обшивка, настил и пр. | всего |                                   |                     |  |
| связи         |      | проезная часть |      | одежда проезжей части, обшивка, настил и пр. |      | итого |      |                            |       |                  |  |       |                                   |                     |  |
| кг            | %    | кг             | %    | кг   | %    | кг    | %    |                            |       |                  |  |       |                                   |                     |  |
| 2             | 4,35 | 50             | 5,26 | 7  | 1,40 | 197   | 7,56 | 1 107                      | 46    | 950              | 503  | 2 607 | 3 707                             | 3,55                | По данным технического проекта СДК ЦНИИС   |
| 280           | —    | 681 (балки)    | —    | —  | —    | 2 251 | —    | 1 290                      | 280   | 681 (балки)      | 723  | 2 974 | 4 774                             | 3,31                | 1. Патон и Горбунов, Стальные мосты, т. 1, изд. 1930 г.<br>2. Одежда проезжей части — дощатый настил |

Фасад. Стадия 3



Фиг. 76. Установка пролетного строения на опоры (быки) (к Фиг. 52)

ветровых связей-балок<sup>1</sup> и одновременно производится устройство тротуаров, обшивка арок и прочие отделочные работы.

6) Техничко-экономические показатели

Расход материалов на 1 м фермы моста и на все пролетное строение приведен в табл. 5. Там

<sup>1</sup> Невозможность выполнения железобетонных работ до установки пролетных строений на опоры является некоторым недостатком проекта, устранимым путем замены железобетонной рамы деревянной решетчатой конструкции.

же приведены значения строительных коэффициентов для фермы в целом и ее частей.

Коэффициент собственного веса, определяемый по формуле IV и II, получен равным:

$$k_{c.в} = \frac{1000 \cdot g \cdot v}{V} = 3,55.$$

Сравнивая эти показатели с аналогичными данными для металлической башенной фермы с полигональным верхним поясом пролетом  $l = 81,60$  м, следует отметить незначительную разницу в величине строительного и весового коэффициентов (табл. 6).

В заключение необходимо отметить, что описанный проект деревянного моста  $l = 84$  м, представляя собой вполне реальный пример решения поставленной выше задачи перекрытия в дереве пролетов 80—100 м в отношении мостов под автогужевую дорогу, вполне подтверждает техническую и экономическую целесообразность этого решения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. НКПС, Труды мостовой подсекции, сборник № 1, «Вопросы деревянного мостостроения», изд. 1923 г., доклад проф. Стрелецкого Н. С.
2. Мюллер-Бреслау, Графическая статика, т. II, ч. 1, изд. 1910 г.
3. Прокофьев И. П., Теория сооружений, т. I, вып. 2, изд. 1932 г.
4. Филовено-Бородич М. М., Основы теории работы упругих сил, Гостехиздат, 1932 г.
5. Тимошенко С. П., Статика сооружений, ч. 1, изд. 1931 г.
6. Цаплин С. А., Деревянный мост через р. Пахру, Гострансиздат, 1933 г.
7. Карлсен Г. Г., Строительные меры борьбы с гниением и пожарной опасностью, ВИА, 1934 г.
8. Ильиневич С. А., Новости городского мостостроения, 1935 г.
9. Иердери Г. П., Курс мостов, ч. 2, «Висячие мосты», 1933 г.
10. Цаплин С. А., Многоцепные висячие мосты, Цудортранс, 1933 г.



## РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

# ЗАЩИТА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Проф. Г. Г. КАРЛСЕН и проф. К. А. ПОПОВ*

### 1. БОРЬБА С ГНИЕНИЕМ, ЖИВОТНЫМИ ВРЕДИТЕЛЯМИ ДРЕВЕСИНЫ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТЬЮ

#### 1. Вводная часть

Гнилостный распад древесины (и других органических строительных материалов) — результат жизнедеятельности грибов-разрушителей.

Прорастание грибных спор (семян), развитие гиф (грибных нитей), пронизывающих толщу древесины и разрушающих ее при помощи выделяемых ими ферментов, и развитие воздушного мицелия («войлочка» — наружной грибницы) возможны только:

1) при подходящей температуре — выше 0° и ниже 40° Ц;

2) при достаточной, но не чрезмерной влажности строительных материалов (для дерева при влажности более 20% и менее полного насыщения водой);

3) при достаточном доступе к гниющей части сооружения влажного воздуха;

4) при отсутствии в древесине ядовитых для грибов веществ, вводимых в толщу дерева (консервирование) или содержащихся в нем от природы, хотя и в недостаточной концентрации (таннины в дубе и др.).

Заражение древесины может происходить не только грибными спорами, но также путем непосредственного соприкосновения здоровой древесины с древесиной, зараженной грибом.

Скорость гниения древесины зависит от вида гриба-разрушителя, температуры, влажности и пр. В некоторых случаях даже толстые сортаменты разрушаются в течение одного года до полной потери механических свойств, в других — гниение идет чрезвычайно медленно.

В условиях, не благоприятствующих прорастанию и развитию, грибные споры и гифы сохраняют всхожесть и способность развития в течение нескольких лет, несмотря даже на длительное воздействие низких температур (ниже — 0° Ц). Поэтому лесоматериалы, пораженные грибами, разрушающими мертвую древесину (сапрофиты и полупаразиты<sup>1</sup>), не должны не только

применяться в строительстве, но даже и допускаться на склад. По тем же причинам строительная площадка должна тщательно очищаться от пораженных гниением лесоматериалов, оставшихся от старых построек, если таковые были на месте строительства.

При сплошном прогревании всей толщи материала гифы не выдерживают высоких температур (более 40—60° Ц) и погибают; грибные споры выдерживают более высокие температуры. В обеззараживающем влиянии высоких температур — одно из существенных преимуществ горячей «камерной» сушки по сравнению с холодной — естественной. Абсолютная стерилизация древесины обеспечивается диатермической длинноволновой электросушкой ее, впервые разработанной по заданию СДК ЦНИПС проф. Ив. Б. Т. в Воронежском ИСИ.

Поверхностное, хотя бы и систематическое, уничтожение воздушного мицелия даже путем газовой дезинфекции не обеззараживает материала, а только задерживает развитие и разрушительную деятельность гриба.

С точки зрения определения методики борьбы с гниением все сооружения и их части можно разделить на три основные группы:

1) сооружения или части сооружений, находящиеся непрерывно или длительно в температурных и влажностных условиях, благоприятствующих гниению;

2) сооружения или части их, попадающие в такие условия только на короткие сроки;

3) сооружения, находящиеся в условиях постоянной сухости (менее 20% влажности дерева) или непрерывного интенсивного увлажнения.

В сооружениях группы 1 гниение может быть предотвращено только путем сплошного проедания в древесину ядовитых веществ (антисептиков) на возможно большую глубину, т. е. местами химического воздействия — консервирования или путем резкого снижения гидрофильности древесины методами стабилизации ее.

В сооружениях группы 2 гниению предотвращается методами легкого консервирования, преимущественно местного назначения; для обеспечения эффективности мероприятий местного назначения

<sup>1</sup> Различают грибы, разрушающие только живое растущее дерево (грибы-паразиты), грибы, разрушающие мертвое дерево в изделии (грибы-сапрофиты) и наконец грибы, разрушающие как растущее, так и срубленное дерево (полупаразиты).

чения в сооружениях группы 2 по возможности должен поддерживаться осушающий режим эксплуатации.

В сооружениях группы 3 никаких специальных мер защиты от гниения не требуется; в них достаточно надежно обеспечено и непрерывно поддерживаемого состояния сухости (менее 20% влажности) или состояния высокой влажности (выше 60%), чтобы избежать развития жизнедеятельности грибной флоры.

Таким образом в надземных сооружениях строительные меры борьбы с гниением сводятся к обеспечению сухости деревянных конструкций во всех этапах заготовки, возведения и эксплуатации их; химические меры защиты дерева от гниения применяются в них лишь в виде исключения.

## 2. Консервирование древесины

### 1) Общие указания

В зависимости от характера увлажнения консервированию подвергаются либо все деревянные элементы сооружения либо только некоторые или даже только те части их, которые подвергаются увлажнению.

Для надежной защиты необходимо, чтобы применяемое в качестве антисептика консервирующее вещество обладало:

- 1) достаточной ядовитостью для грибов;
- 2) достаточной химической и физической устойчивостью, т. е. чтобы оно не улетучивалось, не вымывалось и не теряло вследствие этого защитных свойств в условиях эксплуатации сооружения;
- 3) достаточной легкостью проникания в древесину и способностью прочно на ней держаться.

Во все время необходимо, чтобы это вещество не увеличивало существенно огнеопасности, не угрожало здоровью человека и домашних животных, не ослабляло механических качеств древесины и не способствовало коррозии металлических крепей. В некоторых случаях требуется также, чтобы антисептик не имел неприятного запаха, а также не препятствовал последующей окраске поверхности консервируемого материала.

### 2) Антисептики

#### а) Классификация

Из числа применяемых в настоящее время в СССР антисептиков можно рекомендовать следующие:

**Маслянистые антисептики:**

Каменноугольное креозотовое или антраценовое масло.

Карболинеум.

Смесь креозотового масла с мазутом.

Торфяное креозотовое масло.

Зеленое масло.

**Солевые антисептики (водные):**

Фтористый натрий.

Комбинированный фтористонатровый антисептик.

Хлористый цинк.

Перечисленные антисептики при соответствующей дозировке достаточно ядовиты для грибов, однако ни один из них полностью не удовлетворяет поставленным выше требованиям и потому в каждом отдельном случае необходимо при вы-

боре их руководствоваться условиями работы защищаемой постройки или сооружения, а также желаемым сроком защиты.

### б) Маслянистые антисептики

Креозотовое масло обладает высокой антисептичностью по отношению к дереворазрушающим грибам, насекомым и морским вредителям, может сохранять свои защитные свойства десятки лет в условиях даже очень интенсивного вымывания, не оказывает вредного действия на древесину и металл. Существенными недостатками этого антисептика являются его реактивный, едкий запах, повышенная способность к воспламенению обработанной им древесины (особенно первые 5—6 месяцев после пропитки), а также невозможность последующей окраски обработанной древесины. Креозотовое масло — наилучший антисептик для гидротехнических сооружений, для частей построек и сооружений, находящихся на открытом воздухе, работающих в непосредственном соприкосновении с землей (шпалы, столбы, лежни и пр.) или постоянно находящихся в условиях повышенной влажности. Для частей сооружений и построек, связанных с постоянным или периодическим пребыванием в них человека или животных, а также для складских помещений, где хранятся легко поглощающие запахи продукты, применение креозотового масла не рекомендуется. Креозотовое масло применяется для пропитки «под давлением» и «по способу горяче-холодной ванны», а также для поверхностной обмазки древесины.

**Антраценовое масло** — продукт, близкий по составу к креозотовому маслу, отличается от него большим удельным весом и несколько повышенной вязкостью. По антисептичности оно мало отличается от креозотового масла.

**Карболинеум**<sup>1</sup> представляет собой антраценовое или креозотовое масло, обработанное хлором при подогревании, в результате чего уменьшаются присутствия этим маслом запахи и огнеопасность и увеличивается вязкость. Антисептические свойства практически остаются те же. Вследствие указанных свойств карболинеум находил довольно широкое применение для наружных обмазок частей построек и сооружений<sup>2</sup>.

Смесь креозотового масла с мазутом. Дефицит креозотового масла и сравнительно высокая его цена привели к широкому применению смесей креозотового масла с мазутом, причем последний, сам по себе не обладающий антисептическими свойствами, используется только как растворитель. Смесью эта применяется только при пропитке древесины под давлением и по способу горяче-холодной ванны и должна содержать не менее 40% креозотового масла<sup>3</sup>.

**Торфяной креозот.** Дефицитность креозотового масла заставила обратиться к применению других масел, обладающих антисептическими свойствами. К числу их относится торфяной креозот. Длительное исследование в лабораторном масштабе подтвердило удовлетво-

<sup>1</sup> Впервые предложен Авенариусом.

<sup>2</sup> Необходимо иметь в виду, что в настоящее время иногда на рынке под названием карболинеума появляются суррогаты, обладающие несомненными антисептическими свойствами и вызывающие коррозию металла.

<sup>3</sup> Креозотовое масло и мазут по качеству должны удовлетворять специальным ВЕСТ (НГПС).

рительные (хотя и пониженные по сравнению с креозотовым маслом) антисептические свойства этого масла и позволяет использовать его как суррогат креозотового масла. Недостатки и преимущества этого масла в общем те же, что и у креозотового масла.

Кроме торфяного креозота в настоящее время проверены антисептические свойства так называемого зеленого масла, получаемого как отход при выработке толуола из нефтяных продуктов. Это масло обладает малой вязкостью, легко проникает в древесину. Недостатком попадающего на рынок зеленого масла является обычно значительное содержание легко кипящих составляющих, что повышает опасность воспламенения пропитанной древесины. До настоящего времени зеленое масло применялось для пропитки под давлением в смесях с креозотовым маслом и мазутом, а также в чистом виде.

#### в) Солевые (водные) антисептики

Солевые антисептики применяются обычно в виде водных растворов или паст или же добавляются в сухом виде к утепляющим засыпкам.

**Фтористый натрий** обладает высокой антисептической в отношении дереворазрушающих грибов; трудно растворяется в воде (не более 4—4,5% в кипящей воде); концентрация технических растворов его обычно не превышает 3%. Вследствие слабой растворимости он сравнительно мало страдает от вымывания; фтористый натрий не понижает механических свойств дерева и мало корродирует металл, но повышает огнеопасности, сравнительно мало ядовит для человека и животных, не имеет запаха и не препятствует последующей окраске древесины. В силу указанных свойств фтористый натрий является одним из эффективнейших антисептиков для защиты от гниения частей гражданских сооружений, не подвергающихся особо энергичному вымыванию водой и не соприкасающихся с известью. Фтористый натрий можно применять в комбинации с веществами, повышающими огнестойкость дерева. Он применяется как для пропитки под давлением или по способу горячего раствора ванны, так и для поверхностной обмазки древесины. Кроме того фтористый натрий чрезвычайно широко применяется при новых облегченных методах консервирования по способу «Кобра», «бандажи» и «суперобмазки».

**Комбинированные фтористонатровые антисептики.** Несмотря на хорошие качества фтористого натрия как антисептика, существенным недостатком его является все же вымываемость из пропитанной древесины, хотя и не высокая, но все же во многих случаях ограничивающая срок его защитного действия.

Вследствие этого, а также по ряду других причин гораздо выгоднее применять его в комбинированном виде, добавляя динитрофенолы и их соли, а также некоторые вещества, уменьшающие корродирующее действие динитрофенолов. В таком комбинированном виде фтористый натрий получил чрезвычайно широкое распространение в странах Западной Европы. Незначительно уступая хорошим маслянистым антисептикам в отношении долговечности защиты (вымывание), комбинированные антисептики должны применяться в первую очередь в тех случаях, когда указанные выше отрицательные свойства масля-

ных антисептиков не дают возможности их использовать. Существует много различных типов комбинированных фтористонатровых антисептиков; состав наиболее распространенных из них следующий:

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>Триолит</b>                   |     |
| Фтористого натрия . . . . .      | 73% |
| Динитрофенолов . . . . .         | 18% |
| Хрома . . . . .                  | 9%  |
| <b>Маленит</b>                   |     |
| Фтористого натрия . . . . .      | 81% |
| Динитрокрезола . . . . .         | 13% |
| Двойной сурьмяной соли . . . . . | 6%  |
| <b>Уралит</b>                    |     |
| Фтористого натрия . . . . .      | 85% |
| Динитрофенола . . . . .          | 15% |

Как фтористый натрий, так и комбинированный фтористонатровый антисептик применяются для пропитки в концентрациях 2—3%; для поверхностной обмазки — в концентрации 3%; при пропитке по способу «Кобра», бандажей и суперобмазок количество фтористого натрия регулируется специальными техническими условиями.

**Хлористый цинк.** По силе отравляющего действия, оказываемого им на грибы, хлористый цинк уступает фтористому натрию. Существенными недостатками его являются: 1) чрезвычайно большая растворимость в воде и как следствие очень сильная вымываемость, 2) вредное действие на древесину при применении в концентрациях более 5% и 3) корродирующее действие на металл. Хлористый цинк применяется в концентрациях: для пропиток 2—5%, для обмазок 5—10%.

Из-за указанных его недостатков хлористый цинк должен применяться только в тех случаях, когда невозможно достать фтористого натрия в чистом или комбинированном виде.

В практике помимо перечисленных выше солевых (водных) антисептиков (ввиду дефицитности их) находит применение медный купорос, обладающий антисептической, близкой к хлористому цинку, но вымываемый еще более последнего и кроме того вредно действующий на металл. Он применяется только для поверхностных обмазок в концентрации от 10 до 20%, но даже при таких условиях защита медным купоросом не всегда дает удовлетворительные результаты.

#### г) Прочие антисептики

Довольно широкое распространение имел до последнего времени антисептик, называемый «Кук» и представляющий более или менее стойкую эмульсию креозотового или антраценового масла в воде. Поскольку препараты Кук изготовляются из указанных выше сильных масляных антисептиков, они обладают некоторой антисептической, но надежностью и продолжительность их действия, а также экономическая эффективность их применения пока еще не могут считаться установленными.

Антисептик Кук применяется с эффективностью в «термолитовых» засыпках, где пушонка, полученная в результате гашения известки эмульсией креозотового масла в сухом виде, равномерно подмешивается к опилкам и тем самым антисептирует их.

Наконец в качестве простейшего и дешевого антисептика в некоторых случаях применяют обыкновенную поваренную соль.

Этот слабый и легко вымывающийся антисептик применяется только для так называемой просолки, т. е. глубокой пропитки при помощи длительной вымочки в крепких соляных растворах. Экономически соль может оправдать себя только в тех случаях, когда можно пользоваться даровым запасом рассола в виде соляных озер или лиманов и когда пропитанная солью древесина не подвергается сильному выщелачиванию.

### 3) Способы консервирования

#### а) Общие указания

Продолжительность защиты дерева от гниения помимо состава антисептика зависит также от того, на какую глубину и в каком количестве антисептик вводится в древесину.

Оба эти фактора в значительной мере определяют применяемым способом консервирования.

Кроме того некоторые способы консервирования дают возможность защищать сортимент по всей его поверхности, другие же допускают только «местную» защиту той или иной части сортимента.

Наконец для некоторых способов консервирования требуется сложное специальное оборудование, тогда как другие позволяют обходиться простейшими устройствами.

#### б) Обмазка, опрыскивание и кратковременное погружение в антисептик

Эти способы просты и удобны в применении и не требуют почти никакой специальной аппаратуры. Но антисептик проникает в древесину на очень незначительную глубину (2—4 мм) в небольшом количестве, а потому такая обработка может дать удовлетворительные результаты только в том случае, когда применяется достаточно сильный и стойкий антисептик и если защищенная им древесина не подвергается растрескиванию, при котором открывается для поражения грибом внутренняя незащищенная часть древесины. В тех же случаях, когда тонкий защищенный поверхностный слой подвергается механическому повреждению или вымыванию, такая обработка недостаточна. При указанных способах консервирования применяются антисептики: 1) масляные — креозотовое или антраценовое масло и карболинеум, 2) солевые — комбинированные фтористо-

натровые антисептики и простой фтористый натрий.

При отсутствии указанных антисептиков со значительно меньшей гарантией успеха можно пользоваться хлористым цинком, медным купоросом и в крайнем случае даже «Купом».

Эти способы консервирования дешевы, могут быть применены как до положения материала в дело, так и в процессе строительства и удобны для защиты гражданских сооружений от домашних грибов.

#### в) Пропитка под давлением

Пропитка под давлением является наиболее надежным способом консервирования в тех случаях, когда приходится консервировать лесоматериалы, предназначенные для работы в условиях сильного вымывания антисептика, при однотипных сортиментах, применяемых для массового производства и не подвергаемых после консервирования (перед положением в дело) механической обработке. Этот способ позволяет применять почти все известные антисептики и вводить их в древесину на максимальную глубину, широко варьируя по мере надобности количество вводимого антисептика (фиг. 1).

В зависимости от режима пропиточных операций на 1 м<sup>3</sup> толстомерных сосновых сортиментов вводится обычно 65—90 кг, а для защиты свай от морских древооточев — даже 120—240 кг маслянистого антисептика. При пропитке соевыми антисептиками на 1 м<sup>3</sup> древесины вводят до 300 кг раствора.

Изменяя по желанию концентрацию раствора солевых антисептиков, можно вводить в древесину различное количество антисептических солей.

Пропитка под давлением может производиться только при наличии специального сложного заводского оборудования и потому оправдывается только при крупном масштабе производства, однотипности пропитываемых сортиментов и возможности пускать их в дело без дальнейшей механической обработки. Строительные лесоматериалы, как правило, не могут консервироваться по этому способу на месте строительных работ, а должны сначала завестись на пропиточный завод и уже оттуда направляться на строительство.

При пропитке под давлением сортименты консервируются целиком, производить консервирование только какой-либо части сортимента почти невозможно. До последнего времени этот способ пропитки требовал сухого лесоматериала (с влажностью не более 25%), и только в 1933 г. разработаны режимы, позволяющие вполне удовлетворительно пропитывать сосновые лесоматериалы с влажностью до 35%.

Таблица 1

Нормы расхода антисептика в граммах на 1 см<sup>2</sup> обрабатываемой поверхности

| Антисептин                                       | С боковой поверхности | С торцевой поверхности |
|--|-----------------------|------------------------|
| Креозот, или антраценовое масло                  | 120                   | 250                    |
| Фтористый натрий (3%-ный раствор)                | 8                     | 20                     |
| Хлористый цинк, медный купорос (10%-ный раствор) | 20                    | 70                     |

#### г) Облегченные способы консервирования

В тех случаях, когда простейшие способы консервирования (обмазка и пр.) оказываются недостаточно эффективными и когда в то же время пропитка под давлением по тем или иным причинам неприменима (например когда нельзя избежать последующей механической обработки сортиментов или когда требуется консервировать сортименты не целиком, а только частично),

надлежит применять так называемые облегченные способы консервирования. Ввиду того что эти способы не требуют капитального оборудования, они могут применяться непосредственно на строительстве при любом масштабе производства.

Значительным преимуществом этих способов

лони и в ядровой части — на глубину 2—5 мм (фиг. 2).

Трудно пропитывающиеся породы — ель, пихта — обрабатываются этим способом плохо.

При способе горяче-холодной ванны можно применять как маслянистые, так и солевые антисептики.

#### Пропитка пиломатериалов под давлением



Фиг. 1а. Глубина пропитки водными антисептиками



Фиг. 1б. Глубина пропитки маслянистыми антисептиками

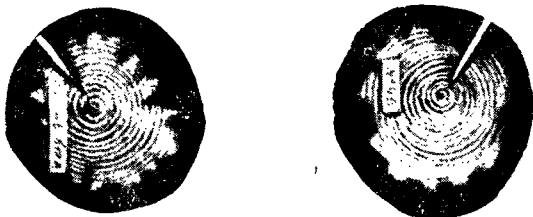
является то, что большинство их можно применять до, во время и после положения сортиментов в дело.

Консервирование по способу «горяче-холодной ванны». Процесс пропитки по этому способу состоит в том, что сортимент целиком или той частью, которую требуется консервировать, погружается сначала в ванну с горячим антисептиком (90—95° Ц), выдерживается там в зависимости от поперечных размеров от 2 до 5 час. и затем быстро переносится в ванну с холодным антисептиком (12—20°

Норма поглощения антисептика на 1 м<sup>3</sup> толстомерных сосновых сортиментов — 100—200 кг.

Дерево должно быть сухое (не более 25% влажности), при большей влажности необходимо увеличивать время выдержки в горячей ванне, однако, несмотря на это, результаты получаются хуже.

При пропитке по способу горяче-холодной



Фиг. 2. Поперечный разрез сосновых стволов, пропитанных по способу горяче-холодной ванны

для солевого и 40—50° Ц для маслянистого) и выдерживается там 1—3 часа или просто оставляется в горячей ванне до ее остывания.

При нагревании древесины в горячей ванне воздух, находящийся в порах древесины, прогревается, расширяется и частично выходит наружу. При последующем охлаждении в холодной ванне оставшийся в древесине воздух охлаждается и сжимается, благодаря чему внутри древесины образуется вакуум, способствующий засасыванию антисептика.

Легко пропитываемые породы — сосна, кедр (в заболонной части) и береза — могут быть пропитаны по этому способу на всю толщу забо-



Фиг. 3. Простейшая установка для пропитки по способу горяче-холодной ванны

лони требуются только баки для горячего и холодного антисептика и нагрев для горячей ванны. Способ этот может применяться непосредственно на стройплощадке при любом масштабе производства (фиг. 3). Стоимость пропитки примерно та же, что и пропитки под давлением<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Для пропитки по способу горяче-холодной ванны имеется соответствующий ИРСТ (ИРПС).

Консервирование по способу Кобра производится специальным прибором (Кобра). Антисептик в виде пасты вводится в древесину при помощи наколов пустотелой иглой. В месте накола остается заряд антисептика, который в сырой древесине или при последующем ее увлажнении рассасывается по прилегающему к наколу участку. Наколы должны располагаться на таком расстоянии друг от друга, чтобы при последующем рассасывании антисептика весь



Фиг. 4. Пропитка по способу Кобра

наружный слой древесины оказался пропитанным на глубину наколов.

Ввиду того что рассасывание антисептика идет легче вдоль волокон (в продольном направлении), расстояние между наколами делается: в продольном направлении — 15 см, в поперечном 3—3,5 см. Обычно наколы располагают в шахматном порядке. Глубина наколов: для сосны — 5 см, для дуба — 2,5—3 см.



Фиг. 5. Пропитка столба по способу Кобра

Способ Кобра позволяет консервировать только заболонную часть древесины и применим только к круглым сортаментам (столбы) (фиг. 4 и 5).

Для способа Кобра применяется комбинированный фтористо-натриевый антисептик, обычно «Уралит», но можно пользоваться также и простым фтористым натрием.

Порода древесины, как и влажность ее, для этого способа безразлична. Обычно по способу Кобра производят только местное консервирование того участка, который находится под угрозой загнивания, например в телеграфных столбах защищают только участок в пределах от 60 см ниже уровня грунта<sup>1</sup> и верхушку столба. Для умень-

шения вымывания защищенный участок снаружи обмазывается маслянистым антисептиком.

Расход антисептика на 1 столб диаметром 32 см—0,6 кг; расход маслянистого антисептика для обмазки консервируемого участка—0,6<sup>2</sup> кг.

Консервирование при помощи бандажей. Способ этот, сохраняя все преимущества способа Кобра и базируясь на том же принципе последующего распространения антисептика в древесине, не требует никакой аппаратуры и заключается в наложении готового бандаж на ту часть сортамента, которую необходимо консервировать.

Бандажи с заключающимся в них антисептиком могут изготовляться заблаговременно на месте работ или в централизованном порядке в специальной мастерской.

В той форме, в которой бандажи появились в Германии несколько лет назад, они представ-



Фиг. 6. Пропитка по способу бандажей (светлоокрашенная часть древесины показывает распространение антисептика по истечении четырех месяцев)

ляют собой два слоя джутовой ткани, между которыми насыпан ровным слоем солевой антисептик (комбинированный фтористый натрий). Бандаж прострачивается по краям и через каждый сантиметр вдоль, чтобы избежать высыпания и перемещения антисептика при наложении бандаж.

Для уменьшения вымывания антисептика из бандаж в окружающий грунт или атмосферными осадками наружная сторона его промазывается креозотовым маслом или другой смолой (иногда наружный слой для уменьшения вымывания изготовляется из брезента).

В таком виде бандаж обертывается вокруг сортамента в том его месте, которое нужно защитить от гниения.

В дальнейшем за счет влаги в древесине, соприкасающейся с бандажом, происходят переход антисептика из бандаж в древесину и пропитка ее на всю глубину заболони и частично ядровой части (фиг. 6).

<sup>1</sup> Впоследствии антисептик распространяется на значительно больший участок.

<sup>2</sup> Консервирование по способу Кобра должно производиться согласно специальной инструкции Наркомсвязи изд. 1934 г

Трудность получения потребного количества брезента и джутовой ткани и сложность изготовления бандажей по указанной схеме заставили разработать в СССР еще более простой тип бандажки без применения дефицитных материалов.

Такие бандажи изготавливаются в виде гибкого листа или ленты и имеют два слоя: внутренний, соприкасающийся с пропитываемой древесиной и состоящий из антисептической пасты (фтористый натрий в чистом или комбинированном виде, замешанный на клеевой основе, как-то: на сульфитных щелоках, пектиновом клее или смоле), и наружный, состоящий из водонепроницаемой основы, — битумированного картона или битумной массы с волокнистыми наполнителями, отвальцованной в виде листов или ленты.

Запас антисептика в бандажке делается обычно не менее  $0,14 \text{ г}$  на  $1 \text{ см}^2$  его поверхности.

При испытании бандаж не должен ломаться при обертывании вокруг столба диаметром  $15 \text{ см}$ , растрескиваться при понижении температуры до  $30^\circ \text{Ц}$ , размокать, оплывать при температуре  $70^\circ \text{Ц}$  в течение 6 час. и должен держаться на столбе при погружении его на сутки в воду.

Для хорошего действия бандажи должны плотно прилегать к древесине, и потому они удобны в применении только для защиты круглых сортиментов или в качестве прокладок и подкладок.

Обычный размер бандажки для защиты столбов —  $70 \times 60 \text{ см}$ , причем в этом случае он устанавливается таким образом, чтобы  $20 \text{ см}$  его были выше и  $40 \text{ см}$  ниже поверхности земли. Так же как и способ Кобра, бандажный способ позволяет производить консервирование непосредственно на месте строительных работ и консервировать сортименты любых пород при любой влажности.

Преимущества этого способа заключаются и отсутствии необходимости специальной аппаратуры, в исключительной простоте производства работ (наложение и укрепление бандажки), в большой производительности, в возможности заблаговременной массовой заготовки бандажки в централизованном порядке и в большой дешевизне по сравнению со способом Кобра (50%).

Консервирование по способу суперобмазки. Во многих случаях в гражданских или инженерных сооружениях все изложенные выше способы неприменимы или применение их сопряжено с большими затруднениями; если например при укладке в дело сортименты приходится подвергать механической обработке, — неприменимы способы горячей холодной ванны и пропитка под давлением; форма сортиментов и характер сопряжения не дают иногда возможности использовать способы Кобра и бандажки, простая же обмазка антисептической жидкостью часто оказывается слишком ненадежной. В таких случаях рационально применять консервирование по методу суперобмазки.

Этот способ заключается в следующем: на ту часть сортиментов, которую необходимо консервировать, наносится суперобмазка, представляющая собою клейкую пасту, содержащую достаточный запас солевого антисептика — фтористого натрия в чистом или комбинированном виде.

При подсыхании суперобмазка хорошо держится на древесине. В дальнейшем процесс про-

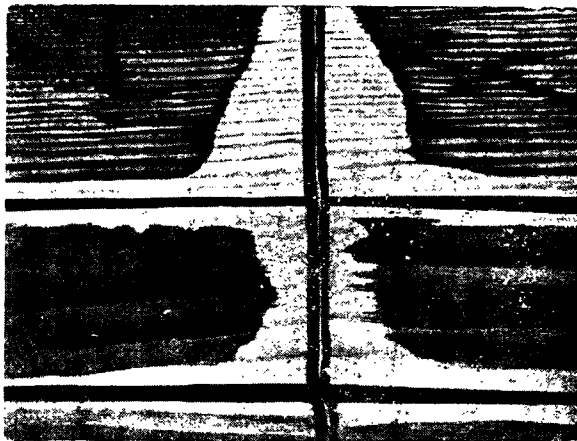
никания в дерево антисептика идет таким же образом, как и при бандажках (фиг. 7).

Главное преимущество суперобмазки по сравнению с бандажками заключается в том, что ее можно наносить на сортимент любой формы и в частности ею можно пользоваться при защите сопряжений и сложных узлов.

Применять суперобмазку можно как во время строительных работ, так (во многих случаях) и после — в период эксплуатации сооружения. Применение суперобмазки не требует никакого специального оборудования.

Перед нанесением суперобмазки, как и при всех других способах консервирования (кроме способа Кобра), древесина должна быть очищена от коры и внутреннего луба.

Механическая обработка древесины после нанесения суперобмазки невозможна, но исключи-



Фиг. 7. Последующее распространение антисептика в древесине при защите по способу суперобмазки (светлые места показывают проникание антисептика)

тельная простота этой операции позволяет производить ее в момент сборки конструкции — после того, как вся необходимая механическая обработка уже закончена.

Применяемые в настоящее время суперобмазки имеют следующий состав: фтористого натрия в чистом или комбинированном виде — 30%, клеящего вещества — пектинового клея или сульфитных щелоков — 60%, торфа (сфагнового) тонко измельченного — 10%.

При изготовлении суперобмазки сначала растворяют клеящие вещества в воде с таким расчетом, чтобы паста легко наносилась кистью на древесину и в то же время не стекала с нее. При употреблении сульфитных щелоков на  $1 \text{ кг}$  сухого экстракта добавляется  $\frac{1}{4} \text{ л}$  воды (горячей); при употреблении пектинового клея на  $1 \text{ кг}$  его добавляется  $\frac{1}{4} \text{ л}$  воды. Затем добавляют фтористый натрий и торф в нужной пропорции, после чего смесь размешивается до получения однородной массы. Во избежание расслоения пасты и осаждения фтористого натрия во время производства работ необходимо пасту тщательно перемешивать.

Суперобмазка наносится на древесину малярной кистью с таким расчетом, чтобы на  $1 \text{ м}^2$  поверхности сортимента расходовалось  $700 \text{ г}$  пасты (200 г фтористого натрия).

#### 4) Выбор антисептика и способа консервирования

Таблица 2

При выборе антисептика и способа консервирования надлежит руководствоваться следующими указаниями.

1. Применять консервирование рационально только в тех случаях, когда срок, на который рассчитана постройка или сооружение, значительно превышает срок службы дерева в данных условиях без консервирования и когда кроме того этот срок службы определяется гниением, разрушением насекомыми или морскими древогоями, а не другими причинами.

2. Части сооружений и построек, которые по роду их работы всегда будут находиться в увлажненном состоянии и которые подвергаются сильному выпелачивающему действию воды, должны консервироваться креозотовым маслом, антраценовым маслом или смесью их с мазутом пропиткой под давлением или по способу горяче-холодной ванны.

Если маслянистые антисептики не могут быть применены вследствие присущих им отрицательных (см. выше) свойств или трудности пропитки данной породы дерева (ель, пихта), надлежит пользоваться комбинированным или чистым фтористым натрием.

Когда увлажнению, а потому и опасности гниения подвергается не весь сортимент, а только определенная часть его, следует применять облегченные способы консервирования, допускающие местную защиту, — Кобра и бандажный.

3. Деревянные части построек и сооружений, в которых не предвидится смывания антисептика водой, должны консервироваться суперобмазкой, а в тех случаях, когда опасность загнивания невелика, — даже простой обмазкой антисептическими жидкостями.

В частности этими методами удобнее всего защищать внутренние части гражданских сооружений и конструкции, огражденные от действия атмосферных осадков.

4. Срок службы дерева в постройках и сооружениях зависит от многообразнейших сочетаний условий эксплуатации их; об эффективности различных способов консервирования можно судить по продолжительности службы только таких сортиментов, как шпалы и телеграфные столбы, которые всегда находятся в более или менее одинаковых условиях по гниению и в отношении которых имеется большое количество наблюдений. О зависимости срока службы от способа консервирования можно судить по табл. 2.

Для пропитки по способу горяче-холодной ванны исчерпывающих данных не имеется; однако, судя по характеру получающейся пропитки и некоторым опубликованным данным, можно определенно считать, что сосновые столбы, пропитанные креозотовым маслом, сохраняются до 20 лет.

Пропитка при помощи способа Кобра дает срок службы сосновых столбов около 15 лет.

Бандажный способ применяется недавно, но результаты должны быть не хуже, чем при способе Кобра.

Способ суперобмазок совсем новый, кроме того он применяется и будет применяться главным образом в гражданских сооружениях, где вообще никаких определенных сроков службы отдельных

Сроки службы древесины в зависимости от способа пропитки (в годах)

| Порода                | Без консервирования | Пропитка под давлением |  |                  |
|-----------------------|---------------------|------------------------|--|------------------|
|                       |                     | креозотовым маслом     | комбинированным фтористым натриевым антисептиком | хлористым цинком |
| Сосна . . . . .       | 5                   | 15 — 20                | 10 — 15  | 9 — 12           |
| Ель . . . . .         | 3,5 — 4             | —                      | 9 — 14   | 7 — 8            |
| Лиственница . . . . . | 6 — 8               | 15 — 20                | —  | 10 — 12          |
| Дуб . . . . .         | 6 — 10              | 20 — 25                | —  | 10 — 12          |
| Бук . . . . .         | 2 — 3               | 20 — 30                | —  | 8 — 12           |

частей зданий (в условиях современного строительства и эксплуатации) указать нельзя.

Тем не менее уже в настоящее время можно с достаточной определенностью считать этот способ наиболее эффективным и рациональным для защиты древесины от домовых грибов, этот способ дает постройкам возможность наиболее безопасно пройти критический период первых лет и временные увлажнения во время их дальнейшей эксплуатации.

### 3. Предохранение древесины от разрушения насекомыми и древогоями

#### 1) Вредители древесины

Помимо грибов дерево может разрушаться также некоторыми насекомыми и их личинками, которые, питаясь древесиной, прогрызают в деревянных частях сооружения многочисленные ходы и тем самым снижают их механическую крепость.

К числу насекомых, чрезвычайно быстро разрушающих древесину, относятся в первую очередь термиты (Isoptera), похожие по внешнему виду на муравьев белого цвета. Термиты ведут подземный образ жизни; проделывая под землей длинные ходы, они проникают оттуда в деревянные части сооружения, выедают всю внутреннюю часть их, оставляя нетронутым только тонкий наружный слой. К счастью этот опаснейший разрушитель имеет весьма ограниченное территориальное распространение (в СССР только в пределах Туркменской и частично Казахской республик).

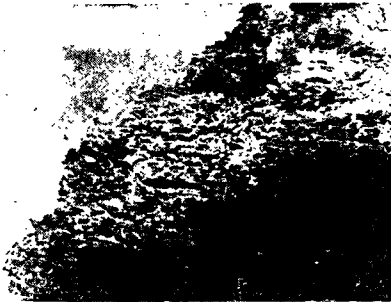
Из других насекомых, разрушающих дерево, в пределах Союза имеют распространение домовый усач (Hilotrupes bajulus), анобиум (Anobium pertinax), ликтус (Lictus brunneus, Lictus linearis) и др. Разрушение дерева производится личинками этих насекомых.

Личинки домового усача разрушают древесину хвойных пород, проделывая в ней ходы диаметром до 4—6 мм; поражению подвержена главным образом заболонная часть древесины. Впоследствии личинки окукливаются в поверхностных слоях древесины, выходящие из куколки жуки-усачи прогрызают овальное отверстие и выходят на-



ружу, после чего снова откладывают в древесине яйца, из которых опять образуются личинки, и т. д. Домовый усач поражает балки, брусья и другие части здания, а также отдельно стоящие столбы. Разрушение иногда бывает настолько значительным, что кончается обвалом. Наибольшее распространение домовые усачи имеют в юго-западной полосе Европейской части Союза.

Кроме домового усача сильное разрушение деревянных частей построек сооружений производят также личинки жука-анобиум (жук-древоточец, мебельный точильщик, жук-часовщик); в некоторых случаях они развиваются в деревян-



Фиг. 8. Разрушение древесины половой доски личинкой жука анобиум

ных частях зданий в огромном количестве. Анобиум поражает как заболонь, так и ядро хвойных пород (фиг. 8); размер отверстий 1—2 мм. Поражаются главным образом потолочные и половые настилы, мебель и пр. Типичным признаком поражения являются мелкие конусообразные кучки древесной муки, появляющиеся под пораженной древесиной.

Сходное по характеру разрушение производит личинка жука-линтуса, разрушающая исключительно древесину лиственных пород.

Указанные насекомые могут производить разрушение совершенно сухой древесины (влажность 7—8%).



Фиг. 9. Морской древоточец *Teredo navalis*

Деревянные части морских сооружений, находящиеся в воде, в некоторых случаях чрезвычайно быстро разрушаются морскими древоточцами-моллюсками: «корабельный сверлило» (*Teredo navalis*) (фиг. 9), банксия (*Bankisia*), ракообразными («древесинный ослик») (*Limnoria*), «бокоплав желхора» (*Chelura terebrans*).

В некоторых портах Черного моря морские древоточцы совершенно разрушают толстые деревянные сваи в один год. То же наблюдается и в некоторых районах Дальневосточного побережья. Наиболее опасное разрушение производят «корабельный сверлило» и банксия, которые в раннем возрасте «вбуриваются» в древесину и растут в ней, продельвая вертикальные ходы диаметром 4—6 мм и длиной до 20—30 см.

При массовом поражении древесина принимает вид сот и совершенно теряет свои механические свойства (фиг. 10).

## 2) Меры борьбы с вредителями древесины

Вопрос о защите деревянных частей построек от разрушения насекомыми (личинками) и морскими древоточцами выяснен только в отношении последних, т. е. морских древоточцев.

Пропитка круглых сортиментов (свай) креозотовым маслом под давлением с введением от 120 до 200 кг антисептика на 1 м<sup>3</sup> дерева (в зависимости от интенсивности поражений) может считаться достаточно надежным мероприятием, гарантирующим целостность древесины на срок в 15 и более лет. Необходимость получения достаточно толстого и равномерно пропитанного слоя древесины заставляет применять преимущественно сосну как породу, которая легко пропитывается в заболонной части. Характер сортиментов (свай), которые приходится защищать от морских древоточцев, дает полную возможность применять пропитку под давлением и не препятствует применению креозотового масла.



Фиг. 10. Разрушение дерева морским древоточцем *Teredo navalis*

Иначе обстоит дело с защитой от дереворазрушающих насекомых: несомненно и здесь пропитка креозотовым маслом явилась бы достаточно надежным мероприятием, однако характер сооружения во многих случаях не позволяет использовать этот антисептик, не говоря уже о том, что и способ пропитки под давлением здесь не всегда возможен.

Учитывая, что фтористый натрий и хлористый цинк не являются достаточно надежными антисептиками против насекомых, облегченные же способы консервирования достаточно проверены только в борьбе с гниением, вопрос защиты дерева от дереворазрушающих насекомых не может быть признан разрешенным, особенно для борьбы с уже обнаруживающимся поражением в постройках<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Газовая дезинсекция (хлорпикрином) является весьма эффективным средством борьбы со всеми видами дереворазрушающих насекомых (кроме морских) в тех случаях, когда пораженное изделие или часть его могут быть изолированы и подвергнуты суточному воздействию отравляющего вещества.

В сооружениях, не допускающих проведения газовой дезинсекции, впоследствии будет, по-видимому, применяться сквозное просвечивание ультракороткими волнами, или длинноволновой диатермической обработкой, осуществляемые пока только в лабораторном масштабе.

Поэтому упор приходится делать на профилактические мероприятия и главным образом следить за тем, чтобы в постройку не попадал неокоренный или уже зараженный лесоматериал.

В случае обнаружения поражения в возведенных сооружениях пораженные сортаменты должны удаляться и заменяться новыми, здоровыми. В этом случае промазку креозотовым маслом следует считать полезной, хотя и не дающей полной гарантии.

#### 4. Строительные меры борьбы с гниением

##### 1) Общие сведения

Основными мерами защиты дерева от гниения в строительстве следует считать: 1) применение воздушно-сухих лесоматериалов и 2) защиту деревянных конструкций от увлажнения как капельно-жидкой, так и конденсационной влагой.

Для обеспечения нормальной долговечности (более 100 лет) деревянные конструкции в эксплуатации прежде всего должны быть защищены от капельно-жидкого увлажнения:

- 1) надежной кровлей от воздействия дождя, снега и других атмосферных осадков;
- 2) надежной изоляцией от увлажнения грунтовой водой; сыростью влажных стен и пр. путем прокладок на гудроне слоев рубероида, толя и т. п.;
- 3) непроницаемыми для воды обшивками (чистым полом, поддонами и т. п.).

Помимо эксплуатационных (постоянных или периодических) источников увлажнения капитальных деревянных конструкций должны быть учтены и монтажные временные источники капельно-жидкого увлажнения:

- 1) недопустимо даже временное (более трех дней) хранение лесных материалов без подкладок, защищающих дерево от почвенной сырости, без прокладок и правильной штабелевки, обеспечивающей надежную вентиляцию, и без защиты хотя бы наклонным настилом от увлажнения атмосферными осадками<sup>1</sup>;

- 2) недопустимо даже временное (более одного дня) хранение под открытым небом органических строительных материалов (опилки, фибролит, соломит и др.), предназначенных к применению в сооружениях в виде теплоизолятора;

- 3) недопустимы до окончания кровельных работ укладка термозоляционных органических плит и засынок, производство смазок и штукатурных работ, а также подшивка фанерой, настилка чистых полов и производство столярных отделочных работ; особенно опасно в таких условиях применение торфа-сфагнома, обычно являющегося носителем заразы наиболее опасными грибами-разрушителями и поэтому в необработанном виде вообще недопустимого в деревянных постройках или их частях;

- 4) необходимо путем своевременного устройства желобов, водосточков и пр. предотвратить застои воды и образование луж как в самом здании, так и в пределах застраиваемого участка<sup>2</sup>;

- 5) необходимо путем оставления осушающих продухов обеспечить достаточно быстрое (не более одного месяца) высыхание уже в процессе эксплуатации как самих деревянных конструкций, так и соприкасающихся с ними засынок, смазок и т. п.;

<sup>1</sup> Подробнее см. «Заготовка, транспортировка, сушка и обработка древесины».

<sup>2</sup> Подробнее на стр. 862.

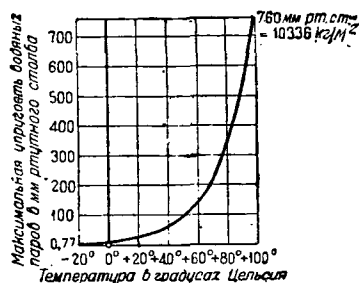
- 6) недопустима даже в случае применения сухих строительных материалов герметическая, глухая заделка деревянных конструкций или их частей<sup>3</sup>.

##### 2) Конденсационные процессы

Одной из главнейших причин гниения деревянных частей зданий и сооружений являются конденсационные процессы, более сложные, чем процессы капельно-жидкого увлажнения, и требующие специального рассмотрения.

При рассмотрении явлений конденсации необходимо иметь в виду следующие основные положения.

При постоянном внешнем (атмосферном) давлении приблизительно 760 мм ртутного столба и наличии постоянного источника испарения воды парциальное давление (упругость) водя-



Фиг. 11. Максимальная упругость (парциальное давление) водяных паров в  $\text{кг/м}^2$  и в мм ртутного столба

ных паров тем больше, чем выше температура воздуха: при  $-20^\circ\text{C}$  и при 100%-ной относительной влажности воздуха максимальное парциальное давление водяных паров равно всего лишь 0,11 мм ртутного столба; при  $+20^\circ\text{C}$  оно соответственно равно 17,54 мм и при  $100^\circ\text{C}$  — 760 мм (фиг. 11).

Парциальное давление паров воды на  $1\text{ м}^2$  поверхности паронепроницаемого ограждения может быть весьма значительным; температурному перепаду от  $-20^\circ$  до  $+20^\circ\text{C}$  соответствует  $16,77 \cdot 13,6 = 228\text{ кг/м}^2$ . Давление это не сказывается на механической крепости и устойчивости ограждающих частей зданий лишь потому, что в последних почти никогда не осуществляется полная герметизация отдельных помещений и благодаря этому повышение (или понижение) давления водяных паров компенсируется соответственным понижением (или повышением) парциального давления газов воздуха.

В паропроницаемых частях ограждений водяные пары всегда стремятся переместиться

<sup>3</sup> Подробнее на стр. 860 и след.

<sup>4</sup> По ориентировочным данным к абсолютно паронепроницаемым строительным материалам относятся только металлы, стекло и т. п.

Почти полной паронепроницаемостью обладают резина, битумы, гольцементный ковер, смолы, лаки, эмали и др.

Малопроницаемы: рубероид, толь и другие изоляционные бумаги, а также покраска масляными красками, фанерная подшивка и др.

Паропроницаемы: железобетон, глиняные смазки, штукатурка, кирпичная кладка, деревянные подшивки и др.

Весьма паропроницаемы: легкие фибролиты, сфагнит и другие теплые плиты, сфагнум, опилки, трепел и другие засыпки.

из зоны высоких в зону пониженных парциальных давлений; это перемещение совершается тем интенсивнее, чем больше температурный перепад и чем больше процент влажности теплого воздуха.

Если источник обильного испарения воды отсутствует или имеет пониженную по сравнению с воздухом температуру, относительная влажность воздуха, как правило, ниже предельно максимальных 100%. Нагревание воздуха в таких условиях снижает относительную влажность его и увеличивает его влагоемкость, характеризующую дефицит насыщения. Чем больше дефицит насыщения воздуха водяными парами, тем интенсивнее испарение влаги с мокрых поверхностей.

Охлаждение воздуха, наоборот, повышает относительную влажность его; при этом дефицит насыщения, уменьшаясь, доходит до нуля, т. е. парциальное давление водяных паров, характеризующее абсолютную влажность воздуха, достигает точки росы, т. е. значения, максимальной для данной температуры, что, как правило, приводит к конденсации паров воды. На диаграмме фиг. 11 понижение температуры соответствует движению влево по горизонтальной постоянной парциального давления водяных паров; пересечение этой горизонтальной с кривой максимальной упругости водяных паров (100% насыщения) соответствует переходу воды из парообразного состояния в жидкое (роса) или в твердое (иней, лед).

Чем выше относительная влажность (в процентах), тем меньше снижение температуры вызывает конденсацию водяных паров. Конденсация может быть поверхностной или внутренней (в порах и пустотах рыхлых материалов).

Причиной конденсации помимо наличия в воздухе достаточного количества водяных паров всегда является наличие последовательного или одновременного температурного перепада.

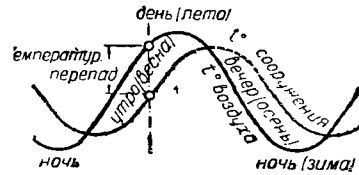
Конденсация, связанная с нарастанием температуры и протекающая только во время изменения температуры, называется *дифференциальной конденсацией*; конденсация, связанная с наличием постоянного для более или менее продолжительного срока температурного перепада (в пространстве), называется *систематической конденсацией*. Процесс конденсации, происходящий без добавления влаги или поступления ее извне, а только за счет смещения водяных паров в пределах одного и того же замкнутого объема воздуха или материала и имеющий характер периодического чередования, носит название *кругового процесса конденсации*.

Дифференциальная конденсация, как правило, является следствием так называемого *температурного гистерезиса*<sup>1</sup>.

Температурный гистерезис (т. е. температурное отставание) часто наблюдается в массивных частях сооружений, построенных из материалов большой теплоемкости; при суточных и сезонных колебаниях температуры воздуха нагревание и остывание теплоемких частей здания не успевают за нагреванием и остыванием самого воздуха (фиг. 12); весной (или утром) например эти

части еще сохраняют свою зимнюю (или ночную) низкую температуру, в то время как воздух уже нагрелся.

При наличии источников увлажнения нагретый воздух имеет возможность пополнил свой «дефицит насыщения» и, охлаждаясь, в местах соприкосновения с холодными частями сооружения конденсировать влагу в виде росы или инея



Фиг. 12. Температурный гистерезис (отставание)

Так например, при внезапном наступлении оттепели каменные массивные стены покрываются «изморозью»; стекла и металлическая оправа очков потеют при резком переходе от мороза на улице к теплу в помещении и пр.

Утром и ранней весной суточное и сезонное температурные отставания суммируются; кроме того весной в избытке имеются источники увлажнения воздуха; этим объясняется особенно интенсивное утреннее (весеннее) намокание бетонных полов и каменных стен в неотопляемых вестибюлях, в нишах каменных мостов и т. п.

Чем больше при этом амплитуда температурных колебаний и отставание во времени, тем больше в результате температурный перепад на каждый данный момент (фиг. 12) и больше опасность появления конденсата.

Интенсивная термоизоляция, препятствующая быстрому прогреванию массивных частей без соответственной пароизоляции, способствует усилению конденсации, поскольку она увеличивает температурное отставание во времени и тем самым увеличивает температурный перепад.

Этим в значительной степени объясняется медленность высыхания и в некоторых случаях даже внутреннее загнивание бревен крупного диаметра, в которых влажная ядровая часть, обладающая большой теплоемкостью, защищена от быстрого прогревания внешними слоями просушенного дерева. Сохраняя в течение нескольких часов свою пониженную ночную температуру, глубинные слои дерева утром увлажняются вследствие конденсации паров воды. Легко проникая под влиянием разности парциальных давлений в толщу бревна через воздушные трещины, водяные пары, конденсируясь и увлажняя дерево, задерживаются там отчасти еще по тому, что вызванное ими разбухание дерева замыкает мельчайшие (волоконные) трещины и затрудняет обратный выход влаги, затрудняет проветривание и высыхание дерева и даже выем

В тонком пиленном лесу при нормальном укладке штабелей с прислоненными к стенам туманных болотных местностей, проветривается быстрым и равномерным проветриванием толщ досок обычно циркулирующим воздухом; кроме того в досках, выпиленных из старого леса при правильной укладке штабелей существуют воздушные трещины, препятствующие в бревнах и способствующие глубокому проветриванию в них конденсату

<sup>1</sup> Влияние температурных отставаний (гистерезиса) и дифференциальной конденсации на процессы гниения впервые выявлено инж. Борншевским А. П. см. Борншевский А. П. «Причины поражения зданий домовыми грибами», Госстройиздат, 1933 г.

### 3) Борьба с конденсационными процессами в массивных конструкциях

В массивных деревянных конструкциях, осуществленных из многих слоев досок или брусьев и защищенных от атмосферных осадков, но не защищенных от соприкосновения с атмосферным воздухом, в мостах больших пролетов, эстакадах и т. п. щели между досками в массивных пакетах могут сыграть роль трещин в бревнах. Для обеспечения нормальной капитальности (долговечности) таких деревянных сооружений (особенно во влажных районах) необходимо: 1) обеспечивать максимальное проветривание и быстрый обогрев их частей; 2) ни в коем случае не утеплять их войлоком и т. п.; 3) местные козырьки и обшивки для защиты от дождя делать из материала максимальной теплопроводности (тонкое оцинкованное железо) и прикреплять таким образом, чтобы все части рабочего сечения, не касаясь металла, хорошо проветривались со всех сторон, особенно снизу, с теневой стороны.

В капитальных деревянных конструкциях, расположенных во влажных районах, помимо указанных мероприятий необходимо все швы между досками промазывать суперобмазкой; в когтевых нагельных и гвоздевых конструкциях это необходимо даже в случае применения общей антисептической пропитки всех элементов.

Во избежание разрушительного влияния дифференциальной конденсации опорные части деревянных конструкций всегда должны быть изолированы от каменных, железобетонных и других массивных стен, столбов и фундаментов не только водо-, но и теплонепроницаемыми прокладками из нескольких слоев войлока или рубероида на гудроне, прокладками из креозотированных досок по толю на смоле и т. п.; независимо от вышеизложенного опорные части капитальных деревянных конструкций должны защищаться суперобмазками для того, чтобы избежать биологического (в результате жизнедеятельности грибов) увлажнения даже в случае проникания влаги через дефектные места кровли.

Недопустима глухая заделка деревянных частей в каменной кладке или в металлических башмаках, ибо такая заделка не только способствует увлажнению дерева вследствие дифференциальной конденсации, но и препятствует проветриванию и высыханию его.

Металлические анкера, стыковые накладки, болты, шпонки и т. п. должны быть минимальных размеров и по возможности открыты и доступны обогревающему воздействию не только воздушных потоков, но и лучистой теплоты и ни в коем случае не должны препятствовать просыханию дерева.

Металлические части капитальных деревянных сооружений, подверженных дифференциальной конденсации, должны быть защищены оцинковкой или лакировкой от ржавления, деревянные — суперобмазками от загнивания; в гвоздевых дощатых конструкциях гвозди должны быть оцинкованы, а доски покрыты суперобмазкой во всех внутренних, прошитых гвоздями поверхностях.

Дифференциальной конденсации подвержены не только мосты, мачты и другие открытые стоящие сооружения, защищенные лишь от непосредственного воздействия атмосферных осадков, но и

внутренние части зданий, заключающие воздух большой влажности и переменной температуры. Особенно значительна опасность возникновения дифференциальной конденсации в залах собраний, в цирках, в кино и других помещениях, периодически увлажняемых и нагреваемых толпой или заводским производственным процессом; на деревянные конструкции, находящиеся в таких условиях, полностью распространяется все вышеизложенное.

В таких помещениях недопустимо непосредственное примыкание к деревянным конструкциям массивных теплоемких глиняных и бетонных смазок, тяжелых шлаковых и щебенчатых засыпок и массивных асфальтовых полов, уложенных непосредственно (без рубероидной или двойной толевой прокладки) на деревянный настил.

### 4) Борьба с конденсационными процессами в ограждающих частях зданий

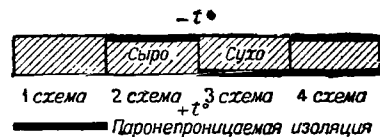
#### а) Поверхностная конденсация

Систематическая поверхностная конденсация, как правило, возникает только в ограждающих частях отапливаемых зданий вследствие наличия в них более или менее постоянного температурного перепада.

Для предотвращения систематической конденсации на поверхности ограждающих частей отапливаемых зданий наименьшая температура теплой поверхности ограждения даже при самых низких температурах внешнего воздуха не должна спускаться ниже точки росы, соответствующей предельному насыщению внутреннего воздуха водяными парами. Особенно внимательно в отношении «равнопрочности» термоизоляции должны быть проработаны места примыкания интенсивных тонких термоизоляций (сфагнит, соломит, опилки и т. п.) к каменным стенам, железобетонным конструкциям и т. п., а также места, в которых термоизоляция прерывается балками, стойками и другими конструктивными частями зданий с повышенной теплопроводностью.

#### б) Характеристика основных типов ограждений в отношении систематической конденсации

На фиг. 13 представлены четыре основные схемы размещения паронепроницаемого слоя термоограждающей части здания. Наиболее характерны схемы 2 и 3<sup>1</sup>



Фиг. 13. 4 схемы температурно-влажностного режима в ограждениях

В схеме 2 при внешней температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ , внутренней температуре  $+20^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха 50% конденсация водяных паров должна происходить в большей части ограждения, имеющего температуру ниже  $+9^{\circ}\text{C}$ , т. е. температуру, при которой максимально возможное парциальное дав-

<sup>1</sup> Для упрощения при дальнейшем рассмотрении схем паронепроницаемость гидроизолятора и паронепроницаемость термоизолятора условно считаются абсолютными.

ление (упругость) водяных паров ниже имеющегося в помещении парциального давления в  $239 \times 0,5 \approx 119 \text{ кг/м}^2$ . В самой холодной части ограждения, имеющей температуру около  $-17^\circ \text{C}$ , парциальное давление водяных паров не может превышать  $14 \text{ кг/м}^2$ ; поскольку эта часть не изолирована от водяных паров внутреннего воздуха, пары воды, имеющие в последнем даже при 50% влажности парциальное давление  $119 \text{ кг/м}^2$ , неизбежно должны перемещаться в сторону холодной части ограждения под давлением  $119 - 14 = 105 \text{ кг/м}^2$ , систематически конденсируясь там в виде инея; в более теплой части, имеющей температуру от 0 до  $+9^\circ \text{C}$ , конденсация будет происходить в виде росы.

Пока имеется указанный температурный перепад и парциальное давление паров внутреннего теплого воздуха не пало ниже  $14 \text{ кг/м}^2$ , систематическая конденсация при схеме 2 не может прекратиться<sup>1</sup>.

В схеме 3 (фиг. 13), напротив, внутренняя систематическая конденсация исключается благодаря ограждению термоизолятора от паров теплого воздуха. Даже в случае применения влажного термоизолятора диффузионное перемещение подогретых паров из толщии ограждения в холодную зону пониженных парциальных давлений и замещение их сухими газами воздуха в конечном итоге обеспечивают высыхание термоизолятора. (По той же причине влажное полотно высыхает на теплой печке даже при отсутствии движения воздуха). При недостаточной интенсивности термоизоляции или местном нарушении ее равнопрочности в схеме 3 возможна только поверхностная систематическая конденсация (те же причины вызывают зимнее потение оконных стекол). Таким образом только схема 3 при достаточном тепловом сопротивлении ограждения надежно обеспечивает сухой режим эксплуатации ограждения даже при большой влажности теплого воздуха и значительном температурном перепаде.

В климатических условиях первого, второго и северной части третьего районов СССР<sup>2</sup> при нормальной влажности воздуха в жилых помещениях (30—60%) в течение большей части года температура воздуха и парциальное давление водяных паров внутри помещения существенно выше, чем вне его. Здесь нормальной схеме 3 всегда соответствует расположение пароизоляции с внутренней стороны здания.

В южных частях СССР температурный перепад на лето меняет свой знак; рассчитывать здесь на определенное преобладание внешних тепла и парциального давления над внутренними можно только в отношении сухих холодильников и других охлаждаемых внутри зданий («отапливаемых» отрицательным теплом); в таких зданиях нормальной схеме 3 соответствует расположение пароизоляции с внешней стороны здания.

В неотапливаемых зданиях вообще нельзя ориентироваться на определенный знак температурного перепада и следовательно и на применение нормальной схемы 3 расположения пароизолятора, превращающейся в недопустимую схему 2 при перемене знака. В таких случаях

приходится применять нейтральную схему 1, которая при условии достаточного теплового сопротивления ограждения, небольшой влажности теплого воздуха и малой гигроскопичности термоизоляционных материалов обеспечивает более или менее сухой режим при любом знаке температурного перепада (например кирпичная стена, сруб и т. п.).

Схема 4 не допускает высыхания строительных материалов и при возникновении температурного перепада и смене знаков его, как правило, приводит к круговым процессам конденсации, т. е. к увлажнению холодной части термоизоляции за счет высыхания подогретой. Кроме того в случае повреждения пароизоляционного покрова с теплой стороны схема 4 легко переходит в увлажняющую схему 2, при этом даже сухое дерево может подвергнуться скоротечному гниению по всей толще всего ограждения вследствие биологического увлажнения его; воды, выделяемой жизнедеятельностью грибов, более чем достаточно для гниения сухого дерева, не имеющего возможности просыхать при отсутствии поверхности испарения воды. Схема 4 допустима поэтому только в негниющих строительных материалах.

#### в) Требования к ограждениям различных зданий

Для обеспечения «режима сушки» внутри ограждающих частей отапливаемых зданий, возводимых в первом, втором и северной части третьего района СССР, внутренняя (теплая) часть ограждения всегда должна обладать большей паронепроницаемостью, чем внешняя (холодная).

Чем больше влажность внутреннего (теплого воздуха) и чем интенсивнее температурный перепад, тем выше должна быть степень паронепроницаемости внутренних слоев ограждения по сравнению с внешними (схема 3).

Кожевенное, придельное, красильно-отбельное и тому подобные производства, бани, прачечные, общежития, залы собраний, цирки и т. п. должны иметь с внутренней (теплой) стороны всех внешних ограждений (стен, покрытий) специальные пароизоляционные прокладки или обшивки (пергамин, геркулес, толь, фанера, лакированная или гудронированная с внутренней стороны и т. п.); с внешней (холодной) стороны эти ограждения должны обладать максимальной паронепроницаемостью (обшивка этернитом, штукатурка по реечным матам, достаточно пористая или снабженная специальными продухами, тонкая кирпичная облицовка с пустыми швами и т. п.).

В нормально эксплуатируемых жилых помещениях осушающий режим ограждений, построенных из малогигроскопичных строительных материалов, может быть обеспечен и без специальных пароизоляционных прокладок при условии равномерного распределения плотности термоизоляции или, что лучше, преобладании ее в холодной части толщии ограждения. В случаях преобладания интенсивной термоизоляции во внутренней (теплой) части ограждения внутренняя пароизоляция обязательна (например при утеплении каменных стен внутри теплыми плитами, фибролитом, сфагнитом и т. п.); обратная она также в кухнях, ваннах и во всех северных ограждениях жилых помещений.

В ограждениях сырых помещений ввиду опасности эксплуатационного нарушения режима

<sup>1</sup> Парциальное давление  $14 \text{ кг/м}^2$  соответствует  $\frac{14 \cdot 100}{239} = 5,86\%$  относительной влажности. В жилых и рабочих помещениях относительная влажность воздуха по санитарно-гигиеническим соображениям не должна быть выше 30%.

<sup>2</sup> Согласно теплотехническим нормам.

сушки всегда рекомендуется применять химические меры борьбы с гниением (опилки, смешанные с известью, гашеной эмульсией креосотового масла, фтористонатровые суперобмазки и пр.).

#### г) Отвод воды с крыши

Одной из основных причин загнивания дерева в покрытиях является протекание кровли и фонарей; механическое удаление снега неизбежно приводит к повреждению гидроизоляции и поэтому, как правило, не должно допускаться.

В климатических условиях большей части СССР снег с покрытий должен, как правило, удаляться в виде талой воды, самотеком стекающей весной через карниз, а зимой внутрь здания — в специальную канализационную систему.

Только для крутых малопролетных крыш, покрытых щепой, черепицей, этернитом, шифером, волнистой асбофанерой, железом, стеклом и т. п., нормальным (хотя и несовершенным в эксплуатации) является отвод воды через внешний карниз.

Для плоских и пологих крыш над отапливаемыми зданиями единственным удовлетворительным решением следует считать теплый внутренний отвод воды; удаление талой воды через холодный карниз таких покрытий при зимних и весенних колебаниях внешней температуры в большей части СССР приводит к подтаиванию нижних (наиболее подогреваемых теплом отапливаемого здания) слоев снега и намерзанию наледей на холодном неподогреваемом карнизе; помимо опасности обрушения сосулек и образования гололеда на тротуарах карнизные наледь неизбежно приводят к порче кровли и протеканию ее в наиболее ответственных опорных частях конструкции покрытия.

Над холодными неотапливаемыми зданиями, а также над зданиями, покрытыми холодным (проветриваемым) чердаком, указанные явления почти вовсе не имеют места; в таких зданиях, так же как и на юге Союза, внешний отвод воды через карниз может быть допущен.

В плоских крышах во избежание перегрузки при образовании озер на их поверхности вследствие провисания балок или ферм, просадки фундаментов и т. п. сток воды должен быть обеспечен уклоном к водоспуску не менее 1—2%. В ендовах плоских крыш уклона, как правило, не требуется. Во избежание образования наледей, препятствующих стоку воды, как водоспуск, так и пути стока к нему должны обеспечить достаточный подогрев талой воды, нарастающий по мере приближения к теплomu водоспуску; подогрев достигается либо постепенным снижением коэффициента термического сопротивления покрытия либо, что лучше, нарастанием искусственного подогрева покрытия снизу отопительными трубопроводами. В ендовах ограниченной ширины рекомендуется устройство внешнего паропроводящего слота.

#### д) Чердачные и бесчердачные покрытия

В чердачных покрытиях малой паропропускаемости огнезащитных смазок должна соответствовать уменьшенная паропропускаемость внутренней облицовки потолка.

Снижение парциального давления водяных паров воздуха самого чердачного помещения должно быть обеспечено:

а) сообщением последнего с низким парциальным давлением водяных паров внешнего (холодного) воздуха через жалюзи слуховых окон или неплотности кровли чешуйчатого типа и

б) ограждением чердака от высокого парциального давления водяных паров внутреннего (теплого) воздуха путем устройства паронепроницаемых подшивок и безусловного запрета сообщения чердака с лестничной клеткой и использования его для целей, не связанных с ремонтом покрытия или эксплуатацией отопительных и вентиляционных сетей.

Покрытие с чердаком даже при пологой кровле обеспечивает:

1) возможность применения местных дешевых термоизоляционных засыпок (трепел, опилки, стружки, солома и пр.) с огнезащитной смазкой;

2) легко контролируемое простое осуществление термоизоляции после окончания гидроизоляционных работ;

3) легкое проведение ремонтных работ без ущерба для производственных процессов;

4) надежное осуществление «осушающего» продуха с легкой регулировкой его интенсивности;

5) доступность чердака и облегченную работу пожарной команды на случай возникновения пожара;

6) меньшее подтаивание снега и образование карнизных наледей.

Поэтому при внешнем отводе воды над малопролетными (не более 30—40 м) зданиями следует, как правило, делать покрытие с чердаком. В зданиях с влажными производственными процессами (бани, прачечные, животноводческие здания, отапливаемые только животной теплотой, и т. п.) всегда следует применять чердачные покрытия.

Бесчердачное утепленное покрытие допустимо только при условии технического или производственного эксплуатационного обоснования его целесообразности; бесчердачное покрытие неизбежно для протяженных зданий с верхним светом и целесообразно при сводчатом или складчатом очертании покрытия, обеспечивающих увеличение внутренних производственных габаритов, равномерность освещения, надежность интенсивного обмена воздуха с помощью коньковых вентиляционных отверстий и пр.; бесчердачное покрытие целесообразно также в эксплуатируемых, так называемых «плоских» крышах при безусловной надежности их гидроизоляции и применении креозотированного дерева.

#### е) Осушающие продухи и пароизоляция

Для обеспечения режима сушки и предотвращения систематической конденсации в толще теплых бесчердачных покрытий в последних должны оставаться осушающие продухи, связывающие парциальное давление водяных паров в толще ограждений с пониженным парциальным давлением водяных паров внешнего холодного воздуха; от паров внутреннего (теплого) воздуха ограждение и осушающие продухи должны быть изолированы.

Наибольшие трудности представляют плоские и пологие рубероидные и гольцементные покрытия; необходимость обеспечения абсолютной водонепроницаемости (а следовательно и паронепроницаемости)

внешней (холодной) гидроизоляции по существу задания приближает решение к схеме 2 (фиг. 13). Даже при обеспечении полной паронепроницаемости внутренней подшивки (что практически почти неосуществимо) можно добиться перевода схемы 2 только в схему 4, еще менее допустимую в условиях нашего строительства.

В наклонных покрытиях паронепроницаемость легко достигается чешуйчатой кровлей: в плоских или пологих покрытиях должны быть предусмотрены специальные осушающие продухи в бортовых частях в местах примыкания плоского покрытия к соседним строениям; при большой протяженности осушающие продухи приходится осуществлять даже в виде специальных патрубков (по типу вытяжных вентиляционных) или, что лучше, в виде защищенных от попадания снега и воды протяженных в одном направлении щелевидных продухов, располагаемых в продольных стыках кровельных щитов.

Из соображений пожарной безопасности во избежание образования тяги в толще ограждения внешние отверстия осушающих продухов должны быть защищены от образования тяги непрозрачной пористой засыпкой (шлаком, пемзой и т. п.), сеткой или иными устройствами, препятствующими образованию тяги, но не препятствующими диффузии газов и паров.

Во избежание распространения дыма и пламени по всей площади покрытия продухи должны иметь полосовое расположение по возможности в кратчайшем (поперечном) направлении покрытия; в продольном направлении осушающие продухи должны быть разобраны огнезащитными преградами.

Недопустимо устройство в теплой части ограждений теплых пустот и каналов, которые из теплотехнических соображений не могут быть сообщены с внешним (холодным) воздухом и в то же время практически не могут быть абсолютно ограждены от доступа в них паров теплого (внутреннего) воздуха.

Для обеспечения всех этих требований необходимы следующие мероприятия:

а) В бесчердачных плоских покрытиях термоизоляция и пароизоляция должны устраиваться **лишь после окончания гидроизоляционных работ** и после полного просыхания несущей конструкции; поэтому она должна подшиваться снизу, как правило, в виде плитного утеплителя.

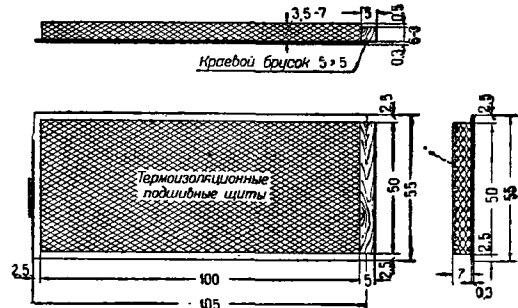
б) Для обеспечения паронепроницаемости снизу термоизоляционные плиты должны быть заранее снабжены паронепроницаемой облицовкой (клееная фанера, приклеенная казеиновым клеем и покрашенная эмалевыми красками, изоляционная бумага, подшитая реечными или драочными матами под штукатурку, и т. п.).

в) Заготовленные таким образом «щиты» (фиг. 14—25) должны допускать установку только снизу, обеспечивать надежное в отношении паронепроницаемости решение швов (фиг. 22—25) и обладать достаточно малым весом для удобной установки их с малярных стремянок (без лесов).

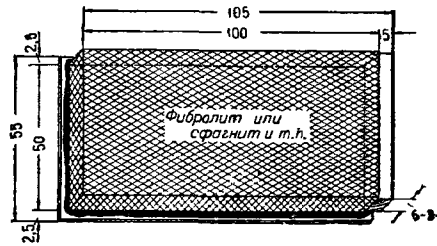
При отсутствии плитных утеплителей следует применять фанерные или реечные «подносы» с тонкими ящичными бортами, допускающие использование и засыпных утеплителей (фиг. 26—28).

При соблюдении вышеизложенных требований, т. е. при обеспечении начальной сухости конструкции, термоизоляции и подшивочных материалов и надежной изоляции ограждения от паров

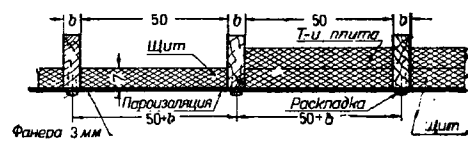
внутреннего воздуха, осушающие продухи могут выполняться в виде узких (шириной 10 мм) щелей по краям покрытия или в виде щелевидных осушающих (фиг. 29) и огнезащитных продухов (фиг. 30), обслуживающих полосы шири-



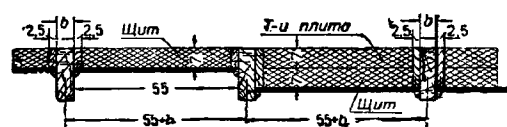
Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16

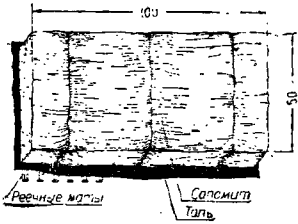


Фиг. 17

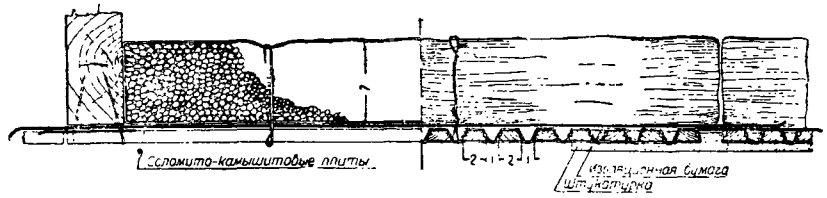
Термоизоляционные щиты

ною до 2—6 м; щели должны допускать возможность временного увеличения их ширины вдвое путем отгиба железного фартука и т. п. на случай протекания кровли и необходимости ускоренной просушки покрытия после ремонта.

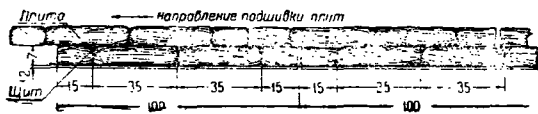
В самом ограждении осушающим продухом служат зазоры между брусками обрешетки или досками настила. При надежной пароизоляции снизу и достаточно частом размещении внешних щелей осушающего продуха (до 2—3 м) ширины внутренних зазоров может быть сведена до ширины щелей, образующихся в рабочем настиле вследствие усушки досок. При повышенной влажности воздуха в перекрываемых помещениях подшивка капитальных покрытий в виде сплошной деревянной плиты снизу паронепроницаемой облицовкой обязательна; подшивки эта должна производиться только в конце лета, т. е. перед пуском отопления, и только при наличии указанных продухов и полной просушки самого



Фиг. 18



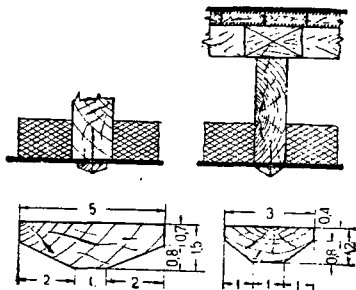
Фиг. 19



Фиг. 20



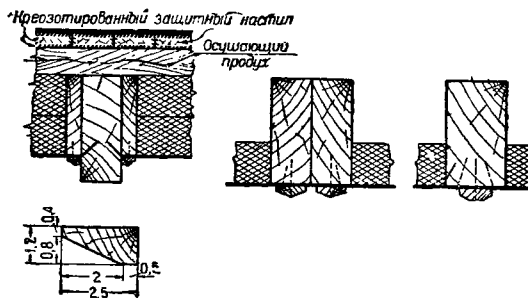
Фиг. 21



Фиг. 22



Фиг. 23

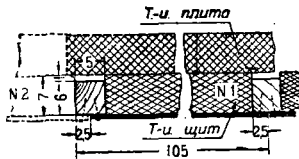


Фиг. 24

Термоизоляционные подшивные щиты, соломит, камышит и т. п.

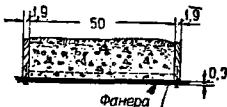


настила. Поскольку зимой просушка эксплуатируемых бесчердачных покрытий, не подшитых снизу, почти невозможна, подшивка пароизоляции, как правило, откладывается на срок 1½ — 2½ года после сдачи покрытия в эксплуатацию. Поскольку строительство еще не перешло на при-

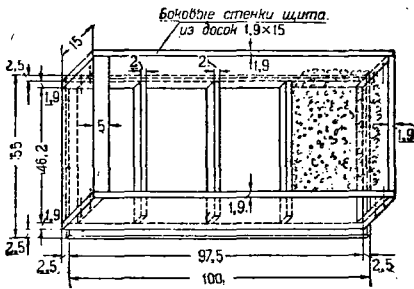


Фиг. 25. Перекрытие поперечных пивов при двойном утеплении

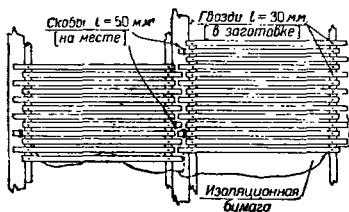
менение только сухеного леса, при массивных покрытиях в виде древесоплиты следует по возможности применять чешуйчатые кровли, даю-



Фиг. 26



Фиг. 27



Фиг. 28

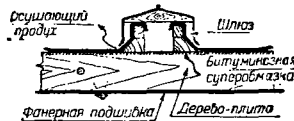
Подшивные «щиты-подносы» с засыпным утеплением

щие интенсивную сушку по всей поверхности древесоплиты. Если это невозможно, следует применять креозотированный защитный настил или загрунтовывать поверхность древесоплиты битуминозной фтористонатровой суперобмазкой, чтобы избежать хотя бы биологического увлажнения дерева.

Применяемое в металлообрабатывающей и машиностроительной промышленности бесчердачное полутеплое покрытие из двух слоев досок с прокладкой войлока или толя между ними не является капитальным покрытием и может быть допущено

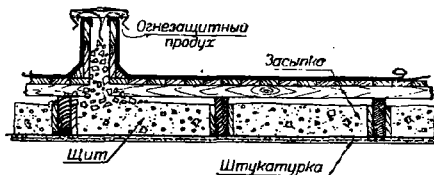
только над сухими производственными помещениями временного значения.

При отсутствии однозначности температурного перепада, в сухих промышленных, служебных и жилых зданиях на юге СССР покрытие можно делать без пароизоляции снизу, но с осушающими продухами наружу в расчете на то, что летом схема 3 (опрокинутая схема 2) быстро просушит следы зимней конденсации. Во всех сомнительных случаях следует оставлять низ древесоплиты неподшитым (хотя бы на время); такая конструкция во всяком случае исключает скоротечное гниение покрытия, возможное при глухой заделке его снизу и сверху.



Фиг. 29. Шпильный осушающий продух

Над влажными (более 60% влажности воздуха) производственными помещениями (прачечные, бани и т. п.) даже при отсутствии однозначности температурного перепада обязательно устройство как паронепроницаемой подшивки внутри, так и интенсивных осушающих продухов наружу. В случае невозможности выполнения таких ограждений из негниющих минеральных строительных материалов обязательна антисептическая пропитка дерева под давлением или же консервирование последующего действия.



Фиг. 30. Огнезащитный продух

Ни при каких условиях не допускается укладка «толстых корыт» по подшивке под термоизоляционные засыпки.

Пароизоляционная бумага, фанера или покраска всегда должны подводиться изнутри после просыхания всего ограждения.

Штукатурка в таких покрытиях должна наноситься непосредственно по изоляционной бумаге, подшитой драпью, или, что лучше, во влажных производствах должна быть покрашена паронепроницаемой краской. В последнем случае не следует применять изоляционной бумаги под драпю, иначе драпю или рейки, попадая в рожки дефицитности металла и цемента ограждающие части зданий во влажных производствах в дальнейшем вообще, как правило, следует решать в негниющих материалах.

В сухих зданиях высокое качество деревянных конструкций должно быть обеспечено и в виде всего индустриальным — сборным — решением их; крупноблочное решение покрытий вместе с тем обеспечивает простую конструкцию осушающих продухов в стыках кровельных щитов без ущерба для пожарной безопасности.

## 5. Борьба с пожарной опасностью

### 1) Общие указания

По своему содержанию химической реакции горение не отличается от гниения: результативно оно заключается в образовании углекислого газа и воды благодаря воздействию на органические строительные материалы кислорода воздуха.

Необходимое для полного завершения реакций горения количество кислорода воздуха (как и в процессе гниения) весьма значительно: при сжигании дерева — приблизительно 3 000 м<sup>3</sup> воздуха на 1 м<sup>3</sup> дерева.

При полном сгорании 1 кг древесины выделяет до 5 000 ккал.

Чем больше в древесине воды, тем больше калорий расходуется на подогрев и скрытое парообразование. Пламенем горит не само дерево, а газообразные продукты сухой его перегонки. Отличительной особенностью процесса горения дерева являются катастрофические его темпы, обусловленные высокой температурой горения (более 250—300°С).

Чем больше поверхность реакции горения, тем больше поверхность выделения продуктов сухой перегонки, больше (в единицу времени) выделение калорий, выше температура, интенсивнее сама сухая перегонка дерева, катастрофичнее процесс горения и развитие пожара.

Массивные беспустотные деревянные части зданий, имеющие на единицу объема относительно малую поверхность ( $\frac{F_{гор}}{V_{дер}}$  мин.), более безопасны в пожарном отношении<sup>1</sup>.

Из этих соображений массивные строганные элементы деревянных конструкций с округленными ребрами следует предпочесть нестроганым элементам в виде тонких досок с острыми кромками.

При одинаковой поверхности реакции температура горения тем выше и темпы развития пожара тем быстрее, чем интенсивнее движение воздуха, омывающего горящее дерево, т. е. чем сильнее тяга (вторая причина катастрофического развития пожара).

Поэтому основными мерами борьбы с пожарной опасностью в сооружениях, содержащих дерево, являются:

1) обеспечение массивности, по возможности даже беспустотности деревянных частей здания

(минимум  $\frac{F_{гор}}{дер}$ ) и

2) устранение возможности образования тяги в случаях, когда образование пустот неизбежно.

В условиях большинства промышленных производств, транспортного хозяйства, жилья и т. п. нельзя рассчитывать на полное устранение первичных источников огня (паровозная искра, оброненный окурочок, опрокинутая керосинка, воспламенение сажки в дымоходе, короткое замыкание в электропроводке и т. п.); в обязанности строителя входит не столько устранение первичных источников огня, сколько обезвреживание их. Поэтому в строительстве недопустимо применение

не защищенных от случайных источников огня, тлеющих от искры или легко воспламеняющихся насыпок (солома, стружки и т. п.) без соответственной защиты их от возгорания. На чердаке такие насыпки должны быть защищены негоряемыми смазками или примесями, в стенах — штукатуркой, а в бесчердачных покрытиях — огнезащитными преградами в виде насыпок шлаком или легким щебнем, т. е. воздушными фильтрами, пропускающими водяные пары (в роли осушающего продуха), но задерживающими проникание искр и образование тяги. Около дымоходов печей, горячих производственных процессов и пр. должны осуществляться надежные разделки, обшивки, штукатурки и пр. согласно действующим правилам пожарной безопасности.

В защитных обшивках, обмазках и покрасках следует прежде всего иметь в виду ограждение дерева от доступа большого количества воздуха, без которого вообще невозможно горение. При этом во избежание преждевременного вспучивания и разрыва защитный слой должен быть достаточно проницаемым для медленного выпуска продуктов сухой перегонки (алебастро-известковая штукатурка или термоодежда по дроби, речным матам или металлической сетке, обшивка асбестом с прикреплением последнего проволокой или штампованной сеткой и т. п.).

Для увеличения срока защиты от возгорания защитный слой должен быть достаточно глубоко закреплен — «заанкерен» — в несущей его конструкции (штукатурные гвозди т. п.). Огнезащитные краски при нагреве больших поверхностей неизбежно отслаиваются после обугливания (под влиянием высокой температуры) несущего их слоя дерева и поэтому имеют назначение предотвратить воспламенение дерева только при местном воздействии на него высоких температур и задержать распространение огня.

Третьей мерой борьбы с пожарной опасностью является защита от воспламенения и от развития горения при помощи поверхностной обработки или обшивки частей здания негоряемыми материалами.

### 2) Пропитка древесины растворами антипиренов

Одним из надежных способов закрепления огнезащитного слоя является более или менее глубокая пропитка древесины растворами специальных огнезащитных веществ, так называемых «антипиренов». Придание огнестойкости дереву при помощи сплошной пропитки его антипиренами может быть выделено в четвертую группу огнезащитных мероприятий. Внедренный в толщу самого дерева огнезащитный состав не может вспучиться и отслаиваться, как огнезащитная краска, прикрепленная только силами поверхностного сцепления.

К сожалению наше строительство пока еще не располагает рецептурой действительно прочных огнезащитных пропиток; так же как и огнезащитные покраски<sup>2</sup>, пропиточные антипирены, применяемые у нас и за границей, еще не вполне удовлетворяют всей совокупности предъявляемых к ним требованиям: 1) химической устойчивости, 2) малой гигроскопичности, 3) безвредности в смысле химического воздействия на древесину

<sup>1</sup> Ворот бумаги, соломенная и щепная крыши легко загораются; развивая высокую температуру и быстро сгорая, они являются источниками катастрофического развития пожара; толстая книга из картоном переплете, соломит и т. п., состоящие из того же материала, но спрессованные и поэтому имеющие малую поверхность реакции, почти не горят даже в печке или на костре.

<sup>2</sup> Последние работы над огнезащитными покрасками сектора консервирования Института пути НКПС, проведенные под руководством проф. Попова К. А. и инженера ЦНИПС при участии инженера СКУ Борщевского А. К., дают весьма обнадеживающие результаты.

и на металлические крепления, 4) долговечности или легкой возобновляемости и, главное, 5) экономичности и доступности в практическом применении.

Тем не менее за границей (в США и др.) производство так называемого «огнестойкого дерева» непрерывно растет и несомненно вскоре после подведения химико-производственной базы должно получить широкое развитие и у нас.

Дерево не может быть сделано несгораемым; как и все органические вещества, оно разрушается путем сухой перегонки или окисления при воздействии высоких температур, но придания дереву полной огнестойкости вовсе и не требуется: благодаря малой теплопроводности и малым коэффициентам температурного расширения дерево на пожаре оказывается значительно более стойким материалом, чем например железо; пожарная опасность применения дерева заключается только в способности дерева выделять при горении значительное количество калорий и тем самым поддерживать развитие пожара.

Основное назначение огнезащитных пропиток — снизить интенсивность горения и уменьшить количество освобождающихся при окислении (горении) калорий путем предотвращения воспламенения продуктов сухой перегонки древесины.

Наиболее эффективными в этом смысле оказываются такие минеральные соли, которые под влиянием высоких температур расплавляются и покрывают раскаленную поверхность дерева сплошной пленкой, прекращающей доступ к дереву кислорода воздуха. Опасность воспламенения еще более снижается, если расплавленные соли помимо образования жидкой пленки выделяют негорючие газы, разбавляющие продукты перегонки древесины и затрудняющие их воспламенение.

Указанным требованиям в полной мере удовлетворяют соли аммония (сернохлористые, фосфорнохлористые); к сожалению эти соли способствуют коррозии металлических креплений. Особенно плох в этом отношении хлористый аммоний, крайне гигроскопичный и разъедающий даже красную медь.

К числу хороших антипиренов относится бура, выделяющая при нагревании пары кристаллизационной воды и при плавлении покрывающая дерево стекловидной пленкой.

Почти все антипирены легко вымываются водой; исключение составляет лишь весьма стойкий в химическом отношении и совершенно негигроскопичный борат цинка. Поскольку борат цинка нерастворим в воде, пропитывать дерево приходится последовательно двумя разными растворами солей (бура и хлористый цинк) с промежуточной просушкой дерева до 10%; реакция перемещения с выделением бората цинка (и хлористого натрия) протекает в толще дерева.

Пропитка древесины, как правило, проводится с применением вакуума и последующего давления (около 8 атм) с предварительной и последующей камерной сушкой. Несмотря на это, хорошо пропитывается только заболонная часть сосновой древесины; ядро, как правило, пропитывается лишь на малую глубину. Возможно, что в дальнейшем для огнестойких деревянных изделий придется специально отбирать заболонные части сосновой древесины. Ель пропитывается с большим трудом и на малую глубину. Почти вовсе непригодны для пропитки лиственница и дуб, имеющие весьма тонкую заболонную часть и вовсе не поддающиеся

ся пропитке ядро. Хорошо пропитываются бук, граб и береза, что имеет значение преимущественно для мебельного производства.

В случае опасности загнивания вполне приемима комбинированная пропитка антипиреном совместно с водным антисептиком (фтористый натрий и др.). Расход антисептика при этом назначается примерно такой же, как и в случае независимого применения его.

Вопросы комбинирования различных химических составов не всегда просто разрешаются; например сочетание аммонийных антипиреновых пропиток с силикатными огнезащитными красками совершенно недопустимо ввиду быстрого разрушения последних<sup>1</sup>.

Главными препятствиями к широкому применению антипиреновых пропиток таким образом являются:

- 1) отсутствие четко выявленной рецептуры антипиренов даже для основных зданий строительства;
- 2) отсутствие или дороговизна химических веществ, требуемых в довольно большом количестве (сухого вещества до 20% от веса сухого дерева);
- 3) недостаточное количество пропиточных установок.

Если учесть, что в производстве огнезащитных пропиток вполне могут быть применены те же облегченные методы, которые применяются в антисептических пропитках (горяче-холодная ванна), и что коррозия металлических частей в огнестойком дереве может быть предотвращена введением в пропиточные составы специальных пассиваторов, следует считать постановку промышленного производства огнестойкого дерева у нас весьма своевременной.

Промышленное разрешение этой проблемы хотя бы в малых масштабах является неотложным, в частности ввиду широкого использования в совхозно-колхозном строительстве щепных, драбных и тесовых кровель; единственным недостатком этих исключительно легких и весьма долговечных покрытий в настоящее время является пожарная опасность их применения.

Еще более эффективно и значительно применение огнестойкого дерева в эллингах большого масштаба, в зданиях общественного назначения и вообще в капитальных и ответственных сооружениях, в которых замена дерева другими материалами связана не только с экономическими, но и с техническими трудностями и в которых единственным препятствием к применению дерева является недостаточная гарантированная безопасность в пожарном отношении.

### 3) Выводы

- a) Общие соображения об огнестойкости деревянных конструкций

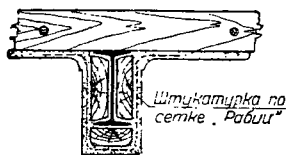
Оценка огнестойкости дерева современными нормативными положениями в СССР основана преимущественно на опыте прежних лет, на анализе пожарных аварий и существовавших до сих пор (и к сожалению преобладающих и сейчас) несовершенных формах деревянного строительства.

<sup>1</sup> Копытковский В. Ф., Способы придания огнестойкости дереву, Сообщение 29, ЦНИИСП, 1981 г.

В связи с переходом к новым формам деревянного строительства необходимо будет соответственно пересмотреть и нормативы, используя для этого не только накопление практического опыта, но и результаты специально проводимых научно-исследовательских работ.

Совершенно так же, как и в развитии гнилостных эпидемий, основные причины пожарных аварий кроются не в самом дереве, а в неумении использовать положительные и обезвредить отрицательные свойства его.

Если изолировать дерево от доступа больших объемов воздуха, то оно оказывается значительно более пожароустойчивым, чем сталь и чугун, тем более, что прогрев его (поперек волокон) совершается примерно в 200 раз медленнее, чем прогрев стали, а коэффициент температурного линейного расширения примерно в 5 раз меньше, чем у стали; в этом отношении дерево на пожаре имеет преимущество даже по сравнению с железобетоном.



Фиг. 31. Защита железных балок от огня деревянными обкладками

Этим объясняется, почему оперативные работники пожарного ведомства предпочитают иметь дело с деревянными массивными стойками, балками, лестницами и даже стропилами, а не с металлическими. Последние обладают свойством сперва разрушать опорные стены и стойки, расширяя их (при температуре 300—400° Ц), а затем внезапно разрушаться без видимых признаков при температурах 500—600° Ц.

Только этими соображениями и можно оправдать постоянно практикуемую в строительстве защиту железных балок от огня деревянными обкладками (фиг. 31) при условии защиты самого дерева штукатуркой или асбестовой, войлочной (на глине) и тому подобными обшивками от доступа воздуха.

Осуществляя в особо ответственных сооружениях всю совокупность мероприятий пожарной безопасности: 1) беспустотность (минимум  $\frac{F_{гор}}{V_{дер}}$ ), 2) меры против возможного образования тяги, 3) поверхностную защиту от доступа воздуха и наконец 4) огнезащитные пропитки, можно было бы ограничивать применение дерева только разве в музейно-антикварных, особо монументальных и небоскрежных зданиях.

#### б) Несгораемые занавесы, пожарные двери и т. п.

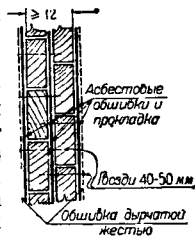
Так называемые «несгораемые» занавесы в театрах несомненно целесообразно осуществлять в виде деревянных беспустотных щитов с асбестовыми обшивками и прокладками (фиг. 32).

Асбесто-деревянная конструкция в виде сплошной двутавровой балки с перекрестной стенкой с массивными ребрами жесткости в случае применения пропитанного дерева значительно надежнее в пожарном отношении, чем железная. Прониканию тепла внутрь деревянной двух-

трехслойной стенки ( $\geq 120$  мм толщиной) занавеса будет препятствовать сперва само дерево, а затем по мере сухой перегонки последнего еще более теплонепроницаемые уголь и пепел. Никакого коробления, свойственного железным занавесам, здесь вообще не приходится ожидать.

Воспламенению дерева будет препятствовать асбестовая обшивка, защищающая дерево как от влияния высоких температур, так и от доступа воздуха. Для лучшего приращения асбестовой обшивки ее следует пришивать гвоздями (40—50 мм) сквозь железную сетку или дырчатую жель. Обшивка сплошной, без швов, железом недопустима, поскольку она внутри будет расширяться газообразными продуктами сухой перегонки и будет способствовать преждевременному доступу воздуха к дереву.

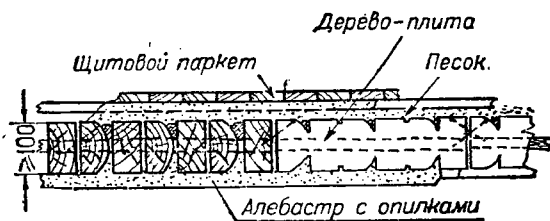
Сплошная двухсторонняя обшивка железом неприемлема также ввиду опасности гниения древесины в случае применения (хотя бы частично) сырого леса.



Фиг. 32. Беспустотные щиты с асбестовыми обшивками

#### в) Междуетажные перекрытия

В междуетажных перекрытиях пожарная безопасность может и должна быть обеспечена беспустотной конструкцией перекрытия в виде сплошной древоплиты. Снизу такая плита должна, как правило, покрываться штупатуркой по речным матам или драги, без толевой изоляции, сверху—двухслойным кислотостойким полом, линолеумом (при отсутствии температурного перелома), паркетом и т. п. В целях усиления звукоизоляции паркет следует делать «плавающим», разрезанным у перегородок, на тонкой прослойке крушного чистого песка (фиг. 33). Конструкцию перекрытия из экономических соображений следует решать в виде многопролетного безреберного настила<sup>1</sup>.



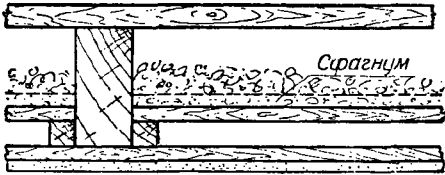
Фиг. 33. «Плавающий» паркет

Возможность применения для неразрезного настила необрезного леса и существенное снижение высоты перекрытия обеспечивают этой конструкции хорошие технико-экономические показатели; однако даже в случае возможного перерасхода древесины это решение все же следует предпочесть обычно применяемому (фиг. 34). Не извините еще у нас блохи, клопы, тараканы, мышь и крысы, соображения противовоздушной обороны и главным образом пожарная опасность требуют безусловного отказа от пустотелых деревянных междуетажных перекрытий хотя бы и по железным балкам.

<sup>1</sup> См. «Древоплита».

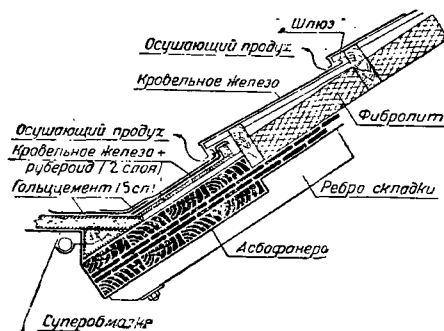
г) Ограждения

В покрытиях вопросы пожарной безопасности обычно усложняются требованиями снижения собственного веса при одновременном усилении



Фиг. 34. Пустотное междустяжное перекрытие

термоизоляции, наличием температурного перепада и требованием интенсивной гидроизоляции сверху, со стороны пониженных температур.



Фиг. 35. Осушающий продух «на мороз»

Требование беспустотности в покрытиях может быть соблюдено при совмещении функций ограждения с функциями несущей конструкции.

Технико-экономический оптимум достигается в тех конструкциях, в которых конструктивная толщина деревянной обложки совпадает с толщиной, определяемой из соображений термоизоляции. В полутеплых покрытиях в деревоплите это требование может быть соблюдено при пролетах 4—6 м; в складчатых покрытиях — при пролетах 12—24 м; в сводах-оболочках — при пролетах 160—200 м.

В теплых покрытиях, как правило, неизбежна подшивка утеплителя снизу, что допустимо лишь при наличии пароизоляции снизу и следовательно осушающих продухов «на мороз».

Последнее требование определяет необходимость применения по возможности «чешуйчатых» кровель, требующих уклона не менее 20° к горизонту (фиг. 35).

Чешуйчатые кровли осуществляются из естественного шифера, этернита, асбофанеры (плоской или волнистой), кровельного железа с горизонтальными открытыми швами, шлюзованными против задувания снега (фиг. 36), или наконеч из укрепленных фанерно-рубероидных щитов (фиг. 37).

В сборных конструкциях, ваготовляемых под напором вместе с гидроизоляцией целесообразно, возможно повышение термоинтегра с внешней стороны конструкции (фиг. 35); внутренняя пароизоляционная обложка всегда подшивается после окончательной продушки всего сооружения.

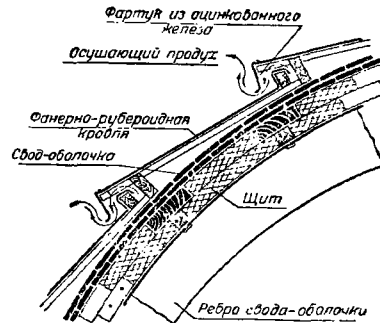
В покрытиях по фермам термоизоляции по возможности должна плотно примыкать к рабочему настилу кровли (см. «Щиты», раздел «Строительные меры борьбы с гниением»).

Только в случае невозможности снижения высоты прогонов или вспомогательных стропильных ног до размеров, равных толщине термоизоляции, и в случае нежелательности при этом оставления ребристого потолка допустимо применение пустотелых покрытий.

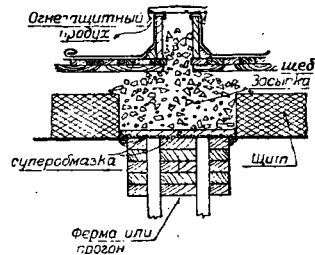
В пустотелых покрытиях пожарная безопасность должна быть обеспечена разделением внутренних пустот на небольшие секции при помощи надежных «огнезащитных преград».

Чем больше высота внутренних пустот, чем больше горючего материала заключено в покрытии и чем больше опасность его воспламенения, тем меньше должен быть размер отдельных секций и надежнее «огнезащитные преграды».

Огнезащитные преграды, как правило, осуществляются в виде рядов из шлака, трепель-



ной щебенки, пемзы и т. п., негорюемых крупнопористых засыпок без примеси мелких песчаных частиц.



Фиг. 36. Горизонтальные открытые швы, шлюзованные против задувания снега

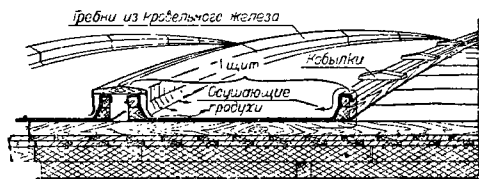
Ввиду опасности просадки засыпки необходимо обеспечить возможность контроля и пополнения ее; кроме того необходимо обеспечить легкую и точную опознаваемость места возникновения пожара и наконец в плоских и полых покрытиях обязательно устройство осушающих продухов.

Все это определяет целесообразность комбинации конструкции огнезащитных преград с малой утепленной огнезащитной продукцией (фиг. 36).

Возможность совмещения функций огнезащитной преграды с функциями осушающей продукции определяется способностью воздушнотеплотехнических свойств сеток, решеток, негорючих насыпок и т. п., почти без задержки пропускать пары и пары при малых скоростях движения (диффузии).

онный обмен, сушка) и составлять непреодолимое препятствие для прохода газов при больших скоростях перемещения (пожарная тяга) вследствие завихрения потока.

Препятствуя распространению огня и образованию тяги, огнезащитный продух обеспечивает осушающий режим всей толще покрытия и в случае возникновения пожара сигнализирует о нем выпуском дыма, указывая и место его очага.



Фиг. 37. Фанерно-рубероидные «гребельные щиты»

Независимо от этого устройство вдоль каждой фермы огнезащитного продуха с последующей засыпкой шлака облегчает производственно-конструктивное примыкание к фермам щитов (фиг. 36).

Вследствие небольшого размера превышения огнезащитных гребней над поверхностью кровли (200—520 мм) особенно большое значение приобретает тщательное «шлюзование» щели фартучками из кровельного (оцинкованного) железа в целях предотвращения проникания снежинок и брызг внутрь покрытия. Наибольшая эффективность осушающего действия этих продуктов наблюдается ранней весной, т. е. в период наибольшей опасности развития гнилостных процессов.

Одним из преимуществ этого решения является также возможность последующей прорезки щели в неправильно запроектированных и осуществленных покрытиях без разборки последних.

Подобными «гребнями» осуществляется осушающий продух также и в сплошном безреберном настиле и в пологих частях сводов-оболочек (фиг. 37). В последнем случае возможно применение сборной конструкции в виде поперечных фанерных лент с красвыми бортами.

Возможность устройства в дереволите осушающего продуха и следовательно возможность устройства изнутри паронепроницаемой подшивки переключает дереволиту из разряда недолговечных в разряд капитальных деревянных конструкций с сохранением за ней всех преимуществ пожарной безопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

### А. Русская литература

1. Гос. научно-исп. институт сооружений, сообщение 29, Копытьковский Б. Ф., Способы придания огнестойкости дереву, 1931 г.
2. Гос. научно-исп. институт сооружений, сообщение 39, Тамарович А. И. и Веденкин С. Г., Временная инструкция по предохранению деревянных конструкций от огня, 1932 г.
3. Центр. научно-исслед. институт материалов НКПС, вып. 4, Целиков В. Веденкин, Огнезащитные краски и составы, 1930 г.
4. Центр. научно-исслед. институт материалов НКПС, вып. 10, Веденкин, Антипирены и огнестойкая древесина, 1934 г.
5. Центр. научно-исслед. институт материалов НКПС, сборник 24, Веденкин С. Г., Защита дерева от огня, 1932 г.
6. Труды Всесоюзной конференции по стандартизации и производству новых строительных материалов, проф. Веденкин С. Г., Защита дерева от огня посредством пропитки и окраски.

7. ЦНИИС, Технический отчет по теме 164, Вагнер А. К., Методология испытаний огнестойкости, 1933 г.

8. ЦНИИС, Технический отчет по паряду 1002, Вагнер А. К., Проект лаборатории по испытанию огнестойкости, 1932 г.

9. Проф. Карлсен Г. Г., Строительные меры борьбы с гниением и пожарной опасностью, 1934 г.

10. Проф. Погин К. И., Сухая перегонка дерева лиственных и хвойных пород, 1931 г.

11. Проф. Тилеман Б. Г. и Сциборский Д. Б., Химия горения, 1935 г.

12. Акад. Каблуков И. А., Термохимия, 1934 г.

13. Максимов С. П., Предохранение дерева и тканей от возгорания, КИИЗ, 1932 г.

14. Повидиц Г. А., Причины возникновения пожаров и их устранение, 1925 г.

15. Орлов К., Противопожарные составы и краски в строительной практике, 1933 г.

16. Малыкин М., Руководство к дешевой приготавливаемой огнеупорных, водонепроницаемых составов и красок для предохранения от пожаров деревянных построек, 1892 г.

17. Сборник обязательных постановлений и инструкций Президиума МОИК Совета Р и К депутатов по противопожарным мероприятиям.

18. Бетке Р., Как защитить предприятие от пожара, 1934 г.

19. ЦНИИХИ, Протоколы испытаний огнезащитных пропиток за 1934 г.

20. Зеберг, Пожарное дело на службе ПВО.

21. Проф. Жеребов и Коваленко, Получение огнестойкой древесины, «Лесохим. пром.» № 4 (10), 1933 г.

22. Проф. Поварини, Харитонов, Григорьев, Материалы к вопросу о сухой перегонке дерева, «Журнал прикладной химии», т. I, вып. 3 и 4, 1924 г., стр. 103 и 123.

23. Проф. Цинжевский, Термохимический расчет сухой перегонки дерева, «Техника и производство», 1926 г.

24. ЦНИИС, Сборник С-У, 1930 г., Сапожников и Копытьковский И., Исследования в области пропитки дерева, стр. 9—42.

25. Вогут, «Строит. пром.» № 8, 1931 г.

26. Федорович, О влиянии огнестойких пропиток на механические свойства дерева, «Вестник инженеров и техников» № 6, 1931 г.

27. Огнестойкое дерево, «Лесное хозяйство и лесохозяйственная» № 4, 1932 г.

28. Деревянная жезь, «Точная индустрия» № 1, 1931 г.

29. Бобров, Опыт теоретического обоснования процесса термического разложения, «Лесохим. пром.» № 3 (27), 1935 г.

30. Проф. Ив. Б. Т. п. Рассадича, «Лесохим. пром.» № 1, 1935 г.

31. Кочурин, «Лесохим. пром.» № 1, 1935 г.

32. Пояснительная записка по поводу утверждения товарищества на полях для производства и применения огнеупорного состава Бабаева, М. 1888 г.

33. Журн. «Золотой», 1909 г., стр. 413.

34. Труды Всероссийского пожарного съезда в Москве 1902 г., стр. 25, 34, 154 и 399, доклад А. А. Мамонтова, представителя Путиловского завода.

35. Труды VI Международного пожарного конгресса, С.-Петербург 20—24 мая 1912 г., I, II, стр. 207, 214, Описание датской газовой печи для испытания больших щитов.

36. Институт прикладной минералогии и металлургии, вып. 7, «Асбест», глава об огнезащитных красках.

37. Центр. пожарн. отд. Главн. упр. комм. хоз. НКВД, Нормальная программа по исследованию и испытанию огнестойких составов.

38. Лекторский, Глубокая металлизация древесины, «Лесохим. пром.» № 12 (24), 1934 г.

39. Петров А., Театральная техника, 1909 г. (рецепты против возгорания).

40. «Строит. пром.» № 8, 1925 г.

41. «Строит. пром.» № 9, 1928 г.

42. Ливини, «Лесохим. пром.» № 1, 1935 г.

43. Труды Всесоюзной конференции по стандартизации и производству новых строительных материалов, проф. Моляй, Придание прочности дереву.

44. «Русско-германский вестник науки и техники» № 4, 1932 г.

45. «Техника коллективному промысл. хоз-ву» № 8, 1931 г. и № 6, 1932 г.

46. ЦИС НКПС, сборник 9, 1931 г., Антисептики в их применение в древесину.

47. Перельгитц, «Вестник инженеров и техников» № 3, 1932 г.

48. Несгораемая фанера, «Лесное хозяйство и лес. пром.» № 11—12, 1932 г., стр. 125.  
49. Гартман, Термолиз древесины, журн. «Хим. пром.» № 3, 1932 г.

**Б. Иностранная литература**

1. R. Schlegel, Untersuchungen über die Grundlagen des Feuerschutzes von Holz, Berlin 1934.  
2. Heradot, Neun Bücher Geschichte (ed. Goldhagen), Bd. 11, S. 172 u. 18.  
3. Vitruvius, Schriften, X, 21.  
4. Aulus Gellius, Noctes attical, XV, 1.  
5. Moll F., Untersuchungen über Gesetzmäßigkeiten in der Holzkonservierung, Berlin 1920.  
6. Moll, Holzkonservierung und Impregnierung.  
7. «Der Holzmarkt», 1932, № 141; 1933, № 79 u. 193.  
8. Hütte I, 25 Aufl., S. 439 u. 547.  
9. Graf O. u. Goebel H., Schutz der Bauwerke, Berlin 1930, S. 207.  
10. Lang G., Das Holz als Baustoff, 1915.  
11. Mitteilungen des Fachausschusses für Holzfragen beim VDI № 3.  
12. «Der Bautenschutz», 1932, № 10 u. 11.  
13. «Gasschutz und Luftschutz», 1933, II, 11.  
14. Geiger u. Scheel, Handbuch der Physik, Bd. IX, Kap. 6.  
15. «VDI-Zeitschrift», Bd. 75, № 14.  
16. Neerst, Theoretische Chemie, 1921, S. 407.  
17. Eucken A., Lehrbuch der chemischen Physik, Leipzig 1930, S. 428.  
18. Jakobsohn W., Messung der Feuerfestigkeit von Holz, «VDI-Zeitschrift» № 14, v. 4, 31, S. 424—425.  
19. Kristen u. Schulze, Prüfung von Holzbalken Feuerschutz, 1935.  
20. Schwabe u. Berling, «Chem. Ztg.», 1933, 8/II, Bd. 57, S. 884—883.  
21. Испытания в области горения, «Chem. Ztbl.», 1934, № 1, S. 973.  
22. То же, «Chem. Ztbl.», 1932, № 1, S. 866.  
23. То же, «Chem. Ztbl.», 1933, II, S. 634.  
24. Moll, Braeht, Bethell, Ryan, «Chemische Apparatur», 1931, v. 18, № 9.  
25. Falck u. Ramesam, Ein neues allgemein verwendbares Holzschutzmittel, «Chemiker Zeitung», 1931, v. 55, № 87.  
26. Konrad Gaub, Frankfurt 1934. Противовоздушная оборона от бомб разрывного химического и зажигательного действия.  
27. Hausen I., «Bautenschutz», 1934, № 5, S. 49—53, Испытания средств по защите деревянных сооружений от воспламенения при действии зажигательных и взрывных бомб.  
28. Junier, «Deutsche Bauztg.», 1934, H. 14. Защита от воздушного нападения и от огня и деревочеменная кровля.  
29. Erdman W., «VDI-Z.», 1935, № 13, S. 413—414, Дерево в строительстве Германии; меры огнезащиты.  
30. Schwabe u. Berling, «Chem. Ztg.», 1932, № 92, 909. Ацетат натрия и двухметалл. фосфорнокислый натрий как вещества для огнезащитной пропитки.  
31. Venerand, Asbest und Feuerschutz, Wien 1920.  
32. «Farbe und Lack», 1925, S. 554; 1926, S. 262—263.  
33. Описание испытаний красок.  
34. Langer, Die Feuersicherheit in Kohlenbergwerken, 1907, О самовоспламенении угля.  
35. Malenecovics, Die Holzkonservierung im Hochbau, 1907, S. 264 (метод вымачивания дерева).  
36. Mahke-Troschel, Handbuch der Holzkonservierung, Berlin 1928 (методы пропитки).  
37. Klau Carl, Feuersicher machen.  
38. «Gasschutz und Luftschutz», 3, 1933, S. 296—299 (методы испытания эффективности химической обработки дерева в целях огнезащиты).

39. Schwabe u. Berlin, «Chem. Ztg.», 57, 881—883, 1933. Новые методы испытания дерева на огнестойкость.  
40. Prüfung und Begutachtung des Duffag Anstrichs, Schutz gegen Entflammung der Duffag A. g. (брошюра Прусского пожарного совета).  
41. Hausen I., Bautenschutz, 1932, v. 3, n. 6, Juni, P-65-8 (новые противопожарные средства).  
42. «VDI-Zeitschrift», 1933, v. 77, n. 16, Apr. 22, S. 428—429. Flammenschutzmittel für Holz.  
43. Kristen u. Schulze, Bericht über Versuche mit geschütztem und ungeschütztem Holz bei Feuerwirkung, «Der Bauingenieur» № 21/22, 1935.  
44. Venec, «Journ. Ind. Eng. Chem.», 5, 1913 (описание электрической печи, в которой производились испытания в Медис. лабораториях).  
45. Жохтин П., «Dinglers Politechnisches Journal», 1893, S. 230 (метод сравнительных испытаний).  
46. Goward H. F. a. Gleadall I. L., «Journal of the chem. Soc.», London 1930, 243.  
47. Banfield W. O. a. Peck W. S., 1922, The effect of chemicals on the ignition temperature of wood (Canadian), «Chem. and Met.» 6 (№ 8): 172—176.  
48. Dunlap M. E. a. Cartwright F. P., 1927, Standard fire tests for combustible building materials, «Am. Soc. Testing Materials Proc.», 27 (Pt. II), 543—538.  
49. Garratt George A., 1927, Fireproof wood for interior construction, «The Amer. Lumberman (May 14)» № 2713; 56—57 and (May 21).  
50. New York City 1928, Bulletin, Board of Standards and Appeals of New York City, vol. 13, № 1 (Jan. 3, 1928) and amendment thereto adopted in March 1928.  
51. Prince H. E., 1915, Tests on the inflammability of untreated wood and wood treated with fire-retardant compounds «Nat'l Fire Protection Ass'n. Proc.», 1915.  
52. — 1914, Preliminary work in fireproofing wood, «Amer. wood Pres. Ass'n. Proc.», p. 158—172.  
53. Truak T. R. a. Harrison C. A. 1929, A new test for measuring the fire resistance of wood Paper presented before, «Am. Soc. Testing Materials» June, 1929.  
54. Hunt, Truak a. Harrison, Fire resistance wood, «Industries», 1930, vol. 52, № 17.  
55. Hunt G. M., Truak T. R., Harrison C. A., «Proceeding of the Annual Meeting of the American Wood Preservers Association», 1930.  
56. То же 1933 г.  
57 и 58. Report of committee C-5 on fire tests of materials and constructions, «Amer. Soc. for Testing Materials Advances», Paper 1930, № 75, 1931, № 67.  
59. Truak, Controlling conditions in gluing different kinds of wood, «Wood Working Industries», 1931, v. 9, № 2.  
60. Truak, Fire proofing of wood, «Wood Working Industries», 1931, v. 10, № 2.  
61. — Fire — retardant surface treatment for wood scaffolding, «Eng. News Record», 1931, v. 106, № 2.  
62. Карптрайт Фр., Предохранение дерева от возгорания, «The Timberman», 1931, № 3 и 4.  
63. Koscier A. a. Pillion M., Effect of High Temperatures on Made of Fracture a Soft wood., «South Lumberman», Dec. 1925.  
64. Pillion M., Effect of High Temperatures on the Made of Fracture and other, «Properties of Hardwood; «Wood Working Industries», Okt. 1929.  
65. Gillet A., 1929, Les facteurs de l'ignifugation des bois «Chemie et Industrie» Special. Number (Fev. 1929) p. 221—7.  
66. Lullin Amédée 1915, Recherches sur les temperature d'inflammation du bois et sur les enduits ignifuges, Genève.  
67. Славик «Chem. Listy» 26, 1932, 211—218 (о нагреве бука и ели до 140—145° Ц в течение 9 дней).

Инж. Ю. М. ИВАНОВ

**II. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**1. Влияние режима эксплуатации на работу конструкции**

Состояние деревянной конструкции и работа ее в эксплуатации определяются многими факторами, из которых основными являются следующие:

- а) система конструкции;

- б) тип соединений;  
в) качество материала;  
г) качество выполнения;  
д) действующая нагрузка;  
е) состояние древесины и  
ж) состояние соединений и рабочих частей.

<sup>1</sup> Т. е. физико-механические характеристики ее в данный момент, определяющиеся влажностью древесины, температурой и влажностью окружающей среды.

Влияние первых четырех факторов можно считать постоянным, влияние же остальных — переменным во времени.

Эти переменные влияния, зависящие в основном от режима эксплуатации в широком смысле этого слова, вызывают с течением времени изменения в работе конструкции; состояние конструкции в данный момент является результатом ее работы в течение всего предшествующего периода. Поэтому для правильного понимания действительной работы конструкции необходимо кроме индивидуальных особенностей, зависящих от качества материала и выполнения (не одинакового в отдельных экземплярах данной конструкции), учитывать также и влияние режима эксплуатации.

### 1) Действующая нагрузка

Нагрузка является одним из основных факторов, влияющих на состояние конструкции, и в основном определяется: 1) величиной, 2) расположением ее на конструкции, 3) характером воздействия (покоящаяся, повторная, ударная и т. д.) и 4) продолжительностью действия.

Явления, возникающие в конструкции в результате действия нагрузки, могут быть разделены на две группы по признаку «обратимости».

К первой группе должны быть отнесены явления, определяющиеся величиной упругих деформаций материала,<sup>1</sup> т. е. имеющие обратимый характер.

Ко второй группе относятся явления, остающиеся после прекращения действия нагрузки, связанные с деформированием материала конструкции (остаточные или пластические деформации, явления усталости и т. д.) и с наличием сил трения в соединениях (остаточные напряжения, усилия в составных элементах и т. п.). Необратимые явления, складываясь, приводят с течением времени к постепенному нарастанию общих деформаций конструкции.

### 2) Состояние древесины

На состояние и работу конструкции оказывают существенное влияние процессы, непрерывно происходящие в древесине. Они тесно связаны со строением вещества древесины, имеют весьма разнообразный характер и проявляются в изменении ее физико-механических свойств.

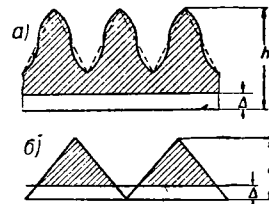
Среди этих процессов наибольшее влияние имеет изменение влагосодержания в древесине. Влияние механических воздействий было уже отмечено выше.

Происходящее при этом изменение механических свойств древесины, а также изменение объема и формы сортиментов оказывают непосредственное влияние на работу как отдельных элементов, так и всей конструкции в целом, вызывая перераспределение напряжений в поперечном сечении элементов вследствие перемещения упругого центра тяжести (при изменении градиента влажности), дополнительный выгиб элементов (при несимметричном увлажнении или высыхании), дополнительные сжимающие усилия в деревянных частях и растягивающие — в металлических болтах и тяжах (при разбухании древесины) и т. п.

Изменение градиента влажности может кроме того вызвать в древесине внутренние напряже-

ния, при значительной величине которых появляются местные нарушения взаимной связи волокон (поверхностные и внутренние трещины). С повышением влажности повышается и пластичность древесины, что при известных условиях механических воздействий может вызвать приращение деформаций. Приращение деформаций имеет место также при периодическом увлажнении незащищенной конструкции (например при длительном отсутствии кровли во время возведения покрытия и т. п.).

Температурный гистерезис в деревянных и металлических частях может также вызвать приращение деформаций вследствие увлажнения древесины в частях, соприкасающихся с металлом, т. е. как раз в местах передачи усилий.



Фиг. 1. Схема уменьшения рабочей площади вкладышей «Аллагатор» (а) и «Бульдого» (б) при усушке

Изменение температуры оказывает влияние на влагообмен (давление водяных паров, скорость движения воды в древесине). Повышение температуры вызывает увеличение пластичности древесины. Длительное действие высокой температуры (выше 70° Ц) вызывает снижение механической крепости древесины.

Наконец на состояние древесины оказывают влияние также различные химические реагенты (например находящиеся в свободном состоянии в условиях некоторых химических производств), а также гнилостные процессы.

Особенно неблагоприятное влияние на работу конструкции имеют последние при наличии температурного гистерезиса, так как в этом случае прежде всего подвергается разрушению древесина в рабочих частях, непосредственно соприкасающихся с металлом<sup>2</sup>.

### 3) Состояние соединений

Работа соединений определяется в основном тем, насколько плотно прижаты их рабочие части.

Наличие неплотностей, получающихся вследствие деформаций древесины под действием усилий и при усушке (а также вследствие неточности выполнения), при статической нагрузке вызывает появление дополнительных моментов и напряжений, при динамической — добавочных инерционных сил, вызывающих расшатывание и дальнейшее расстройство соединений.

Так, в шпунтовых соединениях усушка элементов вызывает ослабление болтов, назначение которых в основном заключается в восприятии реактивных усилий. В результате возникают дополнительные напряжения от изгиба в соединяемых элементах, более неравномерное распределение сминающих напряжений, а нередко

<sup>2</sup> См. напр. Борщевский А. Н., Причины поражения зданий домовыми грибами, М. 1932 г., стр. 34—36.

<sup>1</sup> С учетом упругого последствия.



ухудшается и работа на скалывание (вследствие например отдиранья и т. п.).

В некоторых видах зубчатых вкладышей (например типа Бульдог, Грейм, Аллигатор и т. п.) появление щели между элементами вследствие усушки вызывает существенное уменьшение рабочей площади соединения (фиг. 1 и табл. 1), так как при этом выключаются из работы участки у основания зубцов или сплошные участки пок-

тить устойчивость отдельные элементы или вся конструкция в целом (например гибкие составные гнутые арки или своды). Наличие значительных деформаций нередко уже само по себе делает невозможным дальнейшее использование конструкции (например надворотных ферм ангаров, междуэтажных перекрытий, подкрановых балок, пролетных строений мостов и т. д.).

Таблица 1

Влияние усушки на изменение рабочей площади соединения

| Уменьшение глубины гнезда $h$ в %<br>$100 \frac{\Delta}{h}$ | Уменьшение рабочей площади в % |                     |
|---|--------------------------------|---------------------|
|   | Аллигатор (фиг. 1, а)          | Бульдог (фиг. 1, б) |
| 10  | 15                             | 19                  |
| 20  | 30                             | 36                  |
| 30  | 45                             | 51                  |

В нагельных соединениях появление щели вызывает значительное увеличение краевых напряжений смятия вследствие дополнительного изгиба нагеля.

Усушка рабочих деревянных частей (например шпонок, клиньев, подушек, деревянных нагелей и т. д.) вызывает дополнительные смещения в соединениях.

4) Влияние нарастания деформаций

Результатом описанных влияний являются постепенное нарастание местных и общих деформаций конструкции <sup>1</sup> и изменение вследствие этого действующих в ее элементах напряжений.

В соединениях и в местах прикреплений изменяется степень защемления элементов, получаются дополнительные положительные или отрицательные (в гнутых элементах) выгибы и т. д.

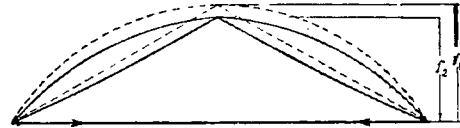
В статически неопределимых системах получается перераспределение усилий, нередко влекущее за собой значительные отклонения в работе конструкции от расчетной схемы.

Неодинаковые деформации отдельных частей сооружения, например ферм и т. д., вследствие различной их жесткости вызывают неравномерное распределение нагрузки и перегрузку одних элементов за счет других <sup>2</sup>.

Значительные общие деформации конструкции изменяют ее геометрическую схему, что приводит к изменению величин действующих усилий.

Например в трехшарнирной арочной ферме опускание ключа (фиг. 2) вызывает уменьшение стрелы подъема и пропорциональное этому увеличение действующего распора или усилия в затяжке.

В результате нарастания деформаций в одних случаях возникают большие дополнительные напряжения, приводящие к местным разрушениям материала <sup>3</sup>, в других же случаях могут утра-



Фиг. 2. Изменение геометрической схемы вследствие деформаций

5) Требования к конструкции

Причиной плохой работы конструкции может быть или неправильная эксплуатация конструкции или несоответствие выбранной системы и типа соединений данному режиму эксплуатации. При выборе типа конструкции должны быть учтены следующие требования.

При статическом характере действия основной нагрузки и длительном ее приложении (например в покрытиях) наибольшее значение имеет пластичность древесины. Поэтому в условиях благоприятствующих развитию пластических деформаций древесины (при повышенных влажности и температуре), не должны применяться типы конструкций, работа которых зависит от величины деформаций, например гибкие распорные системы, где нарастание деформаций может привести к потере устойчивости.

Особенно нежелательно применение при указанном режиме элементов составного сечения ввиду значительного изменения жесткости последнего при нарастании смещений в соединениях. Применение указанных видов конструкций не рекомендуется также в условиях переменной влажности без принятия специальных защитных мер.

В случае применения сырого леса в условиях службы конструкции при пониженной влажности и следовательно при наличии значительной усушки лесоматериала в деле не рекомендуются соединения, работа и исправное состояние которых нарушаются при расщелинии от усушки. К таким соединениям относятся вкладыши Бульдог (см. выше влияние усушки), Аллигатор, кольцевая шпонка и др. В подобных условиях не рекомендуется также применение сплошных металлических частей, например тарельчатых и дисковых вкладышей, жестких замкнутых кольцевых шпонок, широких железных накладок и т. п., которые могут послужить причиной образования трещин вследствие стеснения деформаций древесины при усушке. Усушка вызывает также быстрое расстройство соединений с периодическим расположением волокон вследствие значительной разницы в величинах усушки древесины вдоль и поперек волокон, приводящей к образованию крупных щелей.

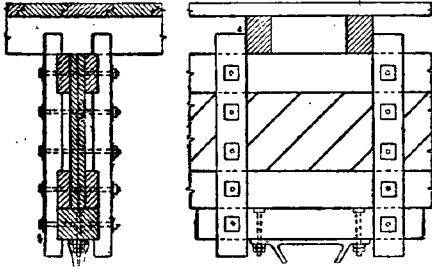
При действии на конструкцию динамической а также подвижной нагрузки должны быть обеспечены:

<sup>1</sup> Кроме влияния указанных факторов деформации конструкции вызываются также колебаниями температуры и определяются величиной коэффициента линейного расширения отдельных элементов конструкции.

<sup>2</sup> Подобные явления получают также в результате неравномерной осадки опор.

<sup>3</sup> См. доклад автора на I Всесоюзной конференции по практическим вопросам строительства действительная работа деревянных конструкций по результатам опытных исследований, М. 1951 г.

печена возможность компенсации неплотностей, образующихся в элементах со знакопеременными усилиями в результате усушки древесины и деформаций под действием усилий. Для этой цели соединения должны быть **натяжными**.



Фиг. 3. Пример конструкции крепления трансмиссии без компенсации неплотностей к двутавровой балке с перекрестной стенкой

Небезупречное решение в этом отношении представляет например конструкция крепления трансмиссии к двутавровой балке с перекрестной стенкой (фиг. 3). Недостатком этого решения является невозможность последующего устранения (например при помощи подтягивания) крупных неплотностей, совершенно неизбежных, во-первых, вследствие перпендикулярного расположения волокон (и как следствие большой разницы в усушке досок балки и вертикальных брусков) и, во-вторых, вследствие работы болтов на динамические воздействия трансмиссии поперек волокон (в балке).

При подвижной и динамической нагрузке, в особенности же при знакопеременных усилиях, должны применяться лишь плотные соединения, не имеющие начальных смещений.

При наличии значительных коррозионных влияний, например в условиях химических производств, должны применяться конструкции без металлических рабочих частей (фермы на ножничных и других врубках, деревянных нагелях и т. д.), а в некоторых случаях должны приниматься специальные меры защиты древесины.

В незащищенных сооружениях не рекомендуется применение многослойных сплошных конструкций ввиду опасности развития грибка; такие конструкции могут быть допущены лишь при условии специальных мер защиты против загнивания.

#### 6) Требования к материалу и выполнению

Важным условием долговечности конструкции является **качество лесоматериала**, в основном — его влажность. При назначении допустимой влажности материала и решении вопроса о необходимости предварительной его сушки должны приниматься во внимание не только нормальные эксплуатационные условия, определяющиеся технологическим процессом данного производства, но также условия режима в начальный период службы конструкции, которые нередко могут резко отличаться от первых. Большое значение имеют условия монтажа обводования.

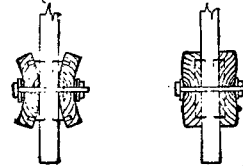
Примером отклонения от нормального эксплуатационного режима могут служить условия при монтаже паропроводов с перегретым паром ( $t^{\circ}$  до  $300^{\circ}$  Ц). В нормальных условиях эти трубы имеют термоизоляция с нагревом наружной по-

верхности до  $50-70^{\circ}$ , в начальный же период они лишены изоляции, которая наносится слоями постепенно высыхающими при температуре наружной поверхности  $150-200^{\circ}$ , причем имеют место усиленная конвекция и нагрев воздуха в помещении.

При неизбежной усиленной вентиляции и пониженной влажности воздуха или при чрезмерно высокой температуре в начальный период службы конструкции, т. е. при условиях, благоприятных для интенсивного растрескивания древесины, сырой лесоматериал не должен ставиться в дело без предварительной сушки его до влажности  $18-15\%$ . Предварительное подсушивание лесоматериала для защищенных конструкций весьма желательна также в целях уменьшения влияния последующей усушки. Уменьшение усушки особенно важно при наличии динамической нагрузки.

Напротив, при высокой влажности воздуха в условиях эксплуатации конструкции лесоматериал не должен иметь очень низкой влажности во избежание разбухания древесины (см. п. 2).

Порода древесины должна назначаться в зависимости от условий эксплуатации сооружения, например при опасности загнивания должны применяться более стойкие породы (не рекомендуются пихта, ель и т. п.).



Фиг. 4. Влияние коробления досок при последующей усушке

Условия эксплуатации должны учитываться также и в отношении качества выполнения. Например при наличии динамических воздействий нагрузки соединения должны быть выполнены особо тщательно, дабы была обеспечена большая их плотность.

Для уменьшения растрояства соединений вследствие коробления (при усушке и разбухании древесины в деле) необходимо при заготовке элементов располагать годичные слои дощатых элементов определенным образом в зависимости от предполагаемых объемных изменений древесины (фиг. 4).

Если при эксплуатации сооружения ожидается меньшая влажность, чем влажность лесоматериала во время заготовки элементов, то необходимо доски располагать внутренней пластью наружу симметрично относительно оси поперечного сечения элемента<sup>1</sup>. Указанный случай встречается наиболее часто.

Если же, наоборот, при заготовке элементов лесоматериал имеет меньшую влажность, чем в сооружении, например в незащищенных конструкциях, находящихся в атмосфере, насыщенной водяными парами (покрытия в некоторых цехах текстильных и красильных производств и т. п.), необходимо обратное расположение годичных слоев в досках.

<sup>1</sup> Иванов Ю. М., Причины недостаточного запаса прочности деревянных конструкций, «Строит. пром.» № 8, 1931 г. Помещено также в приложении к книге Кертена, «Современные деревянные конструкции», 1932 г., стр. 396—407.

## 2. Наблюдение за конструкцией в эксплуатации

### 1) Задачи наблюдения

Наблюдение за конструкцией преследует две задачи:

1) поддержание конструкции в исправном состоянии;

2) выяснение надежности работы конструкции. Первая задача может быть разрешена путем непосредственного осмотра конструкции и своевременного производства мелких ремонтных работ<sup>1</sup>.

Вторая задача более сложна и может быть разрешена лишь путем периодических наблюдений и измерений. Результаты тех и других регистрируются и из сравнений полученных данных выявляется направление, в котором развиваются наблюдаемые явления.

Основные требования, предъявляемые к указанным наблюдениям, — надежность и сравнимость результатов.

Для выполнения этих требований следует по возможности все наблюдения приводить к измерению тех или иных величин (например ширины раскрытия трещин, длины их распространения и т. д.), т. е. производить количественную оценку наблюдаемых явлений, для достижения большей объективности.

Под этим углом зрения и ведется все дальнейшее изложение.

Основными объектами наблюдения, производимого с целью выяснения состояния конструкции, являются деформации конструкции как общие, так и местные.

К общим деформациям, которые подлежат измерению, относятся<sup>2</sup>:

1) вертикальные перемещения основных точек системы (узлы в сквовых конструкциях, определенные точки в вертикальных поперечных сечениях пространственных конструкций и т. д.), осадка опорных точек конструкций;

2) боковые перемещения из плоскости конструкции в плоскостных системах; горизонтальные смещения точек, расположенных в средней части пролета распорных систем, а также характерных точек пространственных конструкций;

3) углы поворота в характерных точках системы, например опорных частей и т. п. (преимущественно в пространственных сооружениях).

К местным деформациям относятся:

1) смещения в соединениях наиболее ответственных элементов;

2) местный выгиб элементов (например пояса на длине панели, выпучивание сжатых элементов, отгиб концов раскосов, наружных накладок в растянутых стыках и т. д.);

3) трещины — их раскрытие и распространение, в особенности в ответственных элементах и в пределах рабочей зоны соединения;

4) расщепление составных элементов преимущественно в местах их соединений (в стыках и т. п.).

### 2) Измерения

Трудность измерения общих деформаций конструкции в условиях ее эксплуатации заключается в том, что все приспособления для производства измерений должны располагаться вне рабочих габаритов помещения. Этим требованиям более всего могут удовлетворить методы измерения при помощи оптических приборов, которые, как правило, устанавливаются периодически только на время измерений (лучше всего с точным сохранением прежнего положения). Для измерения вертикальных перемещений применяется нивелир, для горизонтальных — теодолит.

В отдельных случаях может найти применение стереофотограмметрический метод<sup>3</sup>.

Малая величина приращения деформаций, которая должна быть обнаружена в результате наблюдений, требует высокой точности измерения. Это требование является основным и должно учитываться при выборе инструмента, расположении станций в плане сооружения, способа установки отсчетных реек и точности их делений. С целью повышения точности результатов измерений рекомендуется выполнять правила прецизионного нивелирования, например брать отсчет при точном расположении пузырька уровня посередине, по всем нитям зрительной трубы (при наличии трех нитей), делать контрольные повторные отсчеты и с различных станций и т. д.

Применение переносных реек возможно лишь при тщательном совмещении их с точной отметочной точки измерения и при обеспечении строго вертикального их положения (при помощи уровня).

Однако даже самое тщательное выполнение всех указанных требований не обеспечивает от накопления ошибок. Поэтому во всех случаях, где это возможно, следует рекомендовать применение постоянных реек, неизменно прикрепленных к конструкции.

При невозможности установки постоянных реек во всех точках измерения рекомендуется устанавливать их для контроля измерений хотя бы в некоторых точках.

Должно быть обращено внимание на устранение побочных влияний, которые могут внести погрешности в результаты измерений, а именно: изменения длины рейки вследствие усушки древесины, смещения в месте прикрепления рейки к конструкции, деформаций масштабной ленты (например бумажной) и т. д.

Все отсчеты с данной станции должны быть привязаны к неподвижным реперам, точность отчета по которым должна быть не меньше точности отчета по рейкам.

Ввиду длительного срока подобных наблюдений необходимо обеспечить контроль положения реперов, например взаимной проверки отсчетов по нескольким реперам и т. п.

Измерение местных деформаций должно сопутствовать общему тщательному осмотру конструкции, позволяющему обнаружить новые трещины и другие явления, которые должны стать объектом дальнейших измерений.

<sup>1</sup> См. ТУ и Н § 370—376.

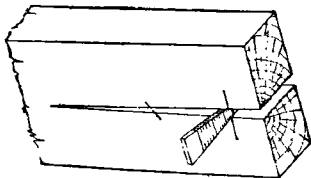
<sup>2</sup> См. также статью «Испытание деревянных конструкций и сооружений» в этом томе справочника.

<sup>3</sup> См. «Испытание деревянных конструкций и сооружений», гл. IV, Измерение местных деформаций.

Наблюдение за смещением в соединениях производится по рискам, которые должны быть нанесены в возможно большом числе<sup>1</sup>.

В основном цель нанесения рисков, в общем дающих небольшую точность измерений, — это контроль за работой конструкции и обнаружение деформирующихся соединений, приращения деформаций которых могут быть затем измерены более точно.

Местные выгибы элементов определяются по стрелке, измеряемой по натянутой (с вогнутой стороны) нити. Отгиб концов элементов измеряется или по смещению риска, нанесенной на специально пригнанной кобылке, или непосредственным измерением расстояния между точно отмеченными точками.



Фиг. 5. Определение раскрытия трещин измерительным клином

Раскрытие трещин измеряется подобно измерению отгибов по риску или непосредственно (например помощью измерительного клина) (фиг. 5).

В последнем случае измерение производится по направлению прямой, проведенной на внешней поверхности элемента поперек трещины.

Наблюдение за распространением трещины производится по отметкам, которые делаются непосредственно на поверхности материала.

Все данные измерений заносятся в специальный журнал, в котором кроме того для правильной оценки полученных данных должны отмечаться величина и расположение нагрузки на конструкции и момент измерения деформаций, температура воздуха в непосредственной близости объектов наблюдения, по возможности относительная влажность воздуха и т. д.

Кроме того сюда же заносятся все соображения наблюдателя о возможных влияниях на деформации конструкции.

Для обеспечения одинаковой точности повторных наблюдений через длительные промежутки времени при возможной смене наблюдателей в журнале обязательно дается описание приемов и порядка производства измерений.

### 3). Анализ результатов

Результаты измерений обрабатываются<sup>2</sup> и представляются в виде диаграмм перемещений, построенных для всех узлов одного и того же пояса каждой фермы или для точек одного поперечного или продольного сечения сооружения.

При анализе полученных данных необходимо их сопоставить в хронологической последовательности и, сопоставляя с величинами нагрузки и

другими данными (см. выше), выяснить закономерность в приращении деформаций<sup>3</sup>.

Наибольший интерес с точки зрения оценки состояния конструкции представляет развитие деформаций от приложения временной нагрузки и по прекращении ее действия. При этом должна быть определена упругая и остаточная части деформации.

При длительном воздействии нагрузки, как это например имеет место в покрытиях, представляет интерес процесс затухания деформаций под нагрузкой и возвращения их по снятии нагрузки.

Поэтому сроки измерений должны назначаться с таким расчетом, чтобы иметь точки в наиболее характерные периоды работы конструкции при изменении временной нагрузки, например в начале и конце зимы и т. д.

Значительная величина остаточной части деформаций или отсутствие упругой части, а тем более заметное нарастание деформаций указывают на неудовлетворительное состояние конструкции.

В таких случаях необходимо тщательно обследовать ее, чтобы обнаружить местную локализацию деформаций. В отдельных случаях целесообразно произвести испытание конструкции расчетной нагрузкой для исчерпывающего выяснения вопроса о достаточно надежной ее работе.

## 3. Ремонт, усиление и восстановление поврежденных конструкций

### 1) Разгрузка конструкции

Мелкие ремонтные работы, необходимые для поддержания конструкции в исправном состоянии, как-то: подтягивание болтов, тяжей, подбивка клиньев, гвоздей и т. д. при небольшой величине неплотностей (как это нормально имеет место при правильной эксплуатации), производятся без разгрузки и поддержания конструкции на подмостях.

В других случаях в зависимости от характера ремонтных работ необходима частичная или полная разгрузка конструкции с поддержанием ее на подмостях.

При таких ремонтных работах необходимо прежде всего освободить конструкцию от временной нагрузки. Затем может быть снята большая часть постоянной нагрузки, например путем подпирания с поднятием прогонов крыши и т. п. При этом должны быть приняты меры для обеспечения устойчивости верхнего пояса (например путем временного раскрепления).

Следующая стадия разгрузки — подпирание непосредственно самой конструкции. Хотя и в этом случае фактически не достигается полной разгрузки, так как известная доля нагрузки и собственного веса передается на отдельные элементы конструкции, но в большинстве случаев нагружением их можно пренебречь, если только самые элементы не подлежат замене или другим исправительным работам.

При подпирании элементы конструкции должны быть обеспечены от дополнительных усилий, которые могут возникнуть например при мест-

<sup>1</sup> См. «Испытание деревянных конструкций и сооружений», гл. IV, в этом томе справочника.

<sup>2</sup> См. «Испытание деревянных конструкций и сооружений» в этом томе справочника.

<sup>3</sup> При этом должны быть учтены соображения, приведенные в статье «Испытание деревянных конструкций и сооружений».

ном действии реакций или вследствие чрезмерного поднятия конструкции на временных промежуточных опорах.

При разгрузке отдельных ферм или балок необходимо учитывать влияние соседних жестких участков перекрытия (крыши, пола и т. д.), нагрузка от которых может передаваться на разгружаемую конструкцию.

Особое значение при этом имеют поперечные и продольные связи между фермами, жесткие прогоны и т. д., влияние которых должно быть устранено тем или иным способом (разбалчивание элементов, одновременное поднятие соседних конструкций и т. д.).

Величина поднятия подпертой конструкции должна контролироваться нивелиром.

Ввиду возможности осадки стоек, поддерживающих конструкцию, вследствие обмятия и осадки грунта и т. д. во время ремонта необходимо следить за профилем подпертой конструкции.

При капитальном ремонте конструкции, при котором является возможность исправить ее провисание (например путем замены элементов, устройства новых стьнов в поясах и т. д.), необходимо придавать конструкции проектный строительный подъем. Однако при очень большой величине провисания, вызвавшего дополнительный выгиб элементов, полная величина проектного подъема иногда не может быть придана ввиду опасности возникновения в элементах значительных дополнительных напряжений.

## 2) Частичное усиление

При частичной замене отдельных элементов или отдельных досок в элементах необходимо обеспечить совместную работу<sup>1</sup> новых и старых частей.

Трудность выполнения этого требования состоит в том, что новое соединение дает начальные деформации, между тем как старое соединение, находившееся под действием усилий, уже получило полную величину деформаций.

При параллельном включении нового соединения со старым (например смена одной ветви составного элемента или накладки в стыке и т. п.), очевидно, получится перегрузка старой части за счет начального смещения в новом соединении. В результате такого ремонта получатся ухудшение работы конструкции и уменьшение ее запаса прочности.

Поэтому при составлении проекта ремонтных или усилительных работ должно быть обращено особое внимание на выполнение указанного требования. При этом необходимо учитывать возможные недостатки выполнения, которые могут привести к ненадежной работе усиленного элемента.

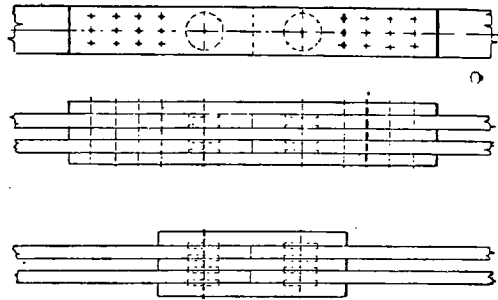
Ввиду важности этого вопроса следует рассмотреть более подробно методы рационального усиления.

Неизбежное влияние начальных деформаций во вновь поставленном элементе или соединении на распределение усилий в ремонтируемой части конструкции может быть устранено частично или полностью двумя приемами.

Первый прием использует начальное натяжение новой части, т. е. предварительное включение ее в работу. Для этой цели дается достаточ-

ный подъем конструкции до полного возвращения деформаций в старых соединениях, а при возможности и до получения известного смещения в обратном направлении. В этом положении производится разметка новых частей, получающихся таким образом уменьшенное расстояние между центрами соединений с запасом на начальные смещения.

Этим примером достигается лишь некоторое выравнивание усилий, однако распределение усилий все же остается достаточно неопределенным, так как не может быть точно определена величина предварительного обратного смещения, которое должно компенсировать начальное смещение в новом соединении.



Фиг. 6. Усиление с исключением параллельной работы старых и новых соединений (по второму приему)

Второй прием основан на исключении параллельной работы старых и новых соединений (фиг. 6). Этот прием более радикален и может быть рекомендован к применению, так как обеспечивает равномерную работу в месте смыкания старой части с новой. Однако он требует полного удаления старого соединения (например стьна, подлежащего ремонту, и т. п.) и устройства примыкания на новом месте, что не всегда возможно при ограниченных размерах панели и большой длине стьна.

При применении соединений, допускающих предварительное натяжение, возможно производить усиление конструкций без ее разгрузки<sup>2</sup>, т. е. в обычных условиях при действии полной постоянной нагрузки. При этом большое значение имеет последовательность введения в работу отдельных частей усиления. Основное требование, предъявляемое к усилению без разгрузки конструкции, — четкость рабочей схемы и определенность величины усилий, воспринимаемых рабочими элементами усиления.

## 3) Полное усиление и восстановление

При использовании конструкции для другой нагрузки усиления отдельных элементов обычно бывает недостаточно.

В таких случаях возможно достигнуть повышения допускаемых нагрузок при сохранении величины пролета путем изменения системы конструкции, например путем превращения простой системы в комбинированную (поддержка балки аркой или цепью, устройством под аркой жесткой балки того же пролета и т. п.) или путем превращения сквозной системы в сквозную (например сплошная обшивка сквозной арки и т. п.).

<sup>1</sup> См. статью автора, указанную в гл. I, п. 4 и в гл. II, п. 1.

<sup>2</sup> См. например статью П. Ф. Козлова «Усиление стропильных ферм», «Строитель» № 20 и 24, 1933 г.

При использовании комбинированных систем распределение нагрузки между отдельными составляющими системами регулируется величиной предварительно задаваемого подъема усиливаемой системы.

При этом должна учитываться начальная деформация вновь вводимой дополнительной системы.

Чтобы обеспечить восприятие элементами усиления полной величины действующей нагрузки, предварительная разгрузка усиливаемой конструкции является обязательной во всех случаях.

При усилении статически определимой конструкции путем превращения ее в статически неопределимую необходимо учитывать возможное перераспределение усилий вследствие начальных и пластических деформаций в соединениях

и поэтому к подобному способу следует подходить с особой осторожностью.

При восстановлении поврежденных конструкций нередко возникает вопрос о полной их смене. В таком случае желательно по возможности оставлять без переделки ограждения конструкции, т. е. крышу, подвесной потолок и т. д., в целях ускорения восстановительных работ и экономии средств.

Для этого новая конструкция должна иметь то же внешнее очертание, что и старая, и такую же разбивку панелей (при передаче нагрузки через прогоны).

Для упрощения работ сборка новой конструкции должна производиться в вертикальном положении, что отчасти предопределяет выбор сборного типа конструкции (смешанные железобетонно-деревянные системы).

# РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Н. Е. ИВАНОВА

### 1. ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ СССР

#### 1. Распределение и характеристика лесных ресурсов

Общая площадь<sup>1</sup> лесов СССР определяется в 934 млн. га, удобная<sup>2</sup> лесная площадь — в 618 млн. га и покрытая лесом площадь — в 574 млн. га.

Леса СССР составляют около 21% от всей площади лесов земного шара и 40% от всей площади лесов умеренного пояса.

Распределение покрытой лесом площади между отдельными лесными районами Европейской части СССР, средний процент лесистости и состав лесов по каждому району приведены в табл. 1 и показаны на схематической карте (фиг. 1).

Наибольшие по площади лесные массивы расположены на севере, северо-западе и северо-востоке Европейской части СССР, в Беломорском, Уральском, Балтийском и Центральном лесных районах, которые характеризуются и наибольшим процентом лесистости. На юге, юго-западе и юго-востоке Европейской части СССР, в Западном, Черномоземном и Южном районах ле-

сов значительно меньше и процент лесистости ниже.

Состав лесов Европейской части СССР неоднороден. На севере, северо-востоке, в Беломорском и Уральском районах преобладают елово-сосновые насаждения с небольшой примесью лиственных пород, главным образом березы и осины. На северо-западе, в Балтийском районе, распространены сосново-еловые насаждения с небольшим процентом лиственных пород. С продвижением на юг примесь лиственных пород увеличивается, и Центральный район уже характеризуется хвойно-лиственными насаждениями.

По направлению на юго-запад из состава насаждений постепенно исчезает ель и увеличивается примесь лиственных пород, среди которых появляется дуб (Западный район).

На юго-востоке (Южный и Черномоземный районы) преобладают лиственные насаждения, и состав которых в значительном количестве входят дуб и бук.

Леса Беломорского и Балтийского районов эксплуатируются главным образом на экспорт; Уральский район в основном является базой горно-заводской промышленности и питает внутренний рынок; Центральный район также доставляет древесину для внутреннего рынка; Западный район дает как экспортную древесину, так и древесину для внутреннего потребления; Черномоземный и Южный районы с неболь-

<sup>1</sup> Под общей площадью понимается вся территория, выделенная для лесного хозяйства, включающая в себя уголья и неудобные пространства.

<sup>2</sup> Удобной площадью считается производительная лесная площадь как покрытая, так и непокрытая лесом в данный момент.

Лесные ресурсы Европейской части СССР

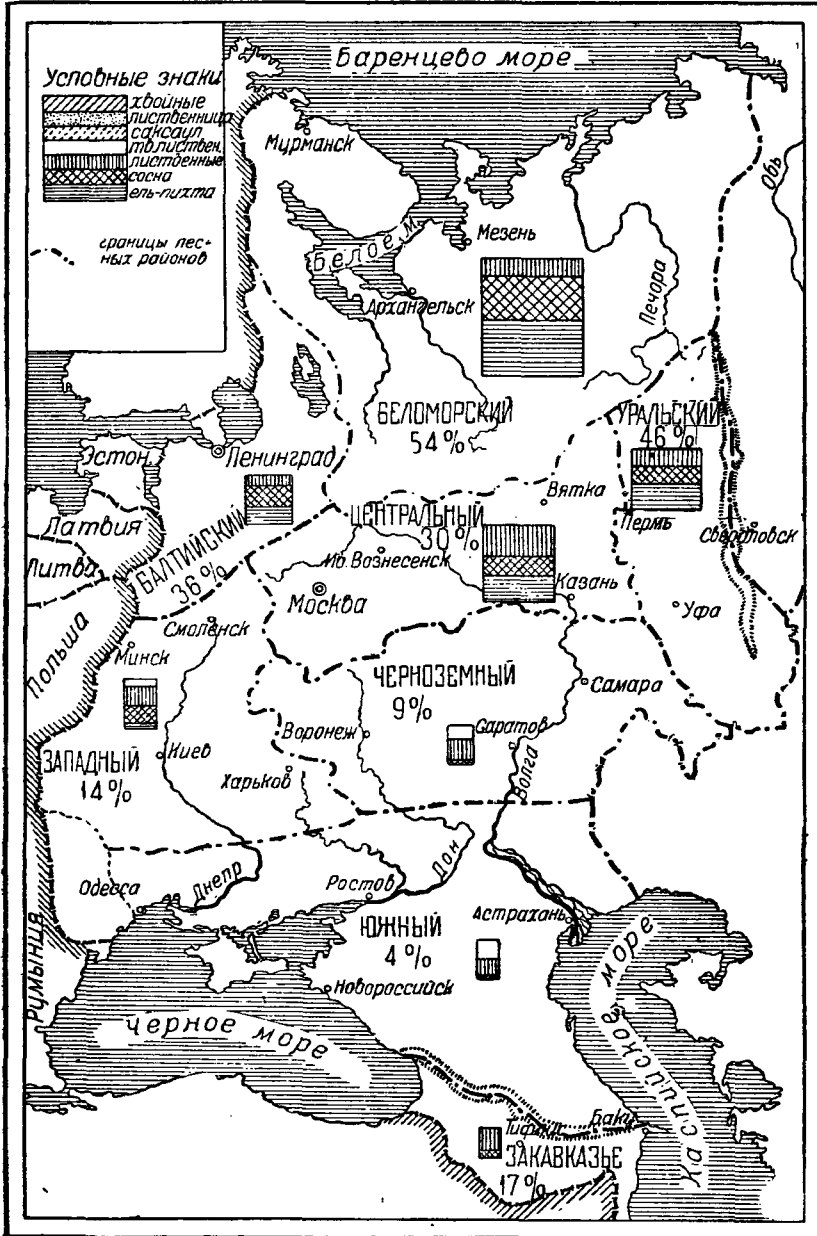
Таблица 1

| Лесные районы                           | Площадь, покрытая лесом |     | Состав лесов в % |            |               |  |
|---|-------------------------|-----|------------------|------------|---------------|--|
|   | в млн. га               | в % |                  |            |               |  |
| Беломорский . . . . .                   | 63,00                   | 54  | 50 ели,          | 40 сосны,  | 10 лиственных |  |
| Уральский (Европейская часть) . . . . . | 55,75                   | 46  | 40 »             | 40 »       | 20 »          |  |
| Балтийский . . . . .                    | 12,20                   | 36  | 30 »             | 50 »       | 20 »          |  |
| Центральный . . . . .                   | 20,18                   | 30  | 30 »             | 25 »       | 45 »          |  |
| Западный . . . . .                      | 6,64                    | 14  | 10 »             | 40 »       | 40 лиственных |  |
| Черномоземный . . . . .                 | 4,66                    | 9   | — »              | 15 »       | 10 дуба       |  |
| Южный . . . . .                         | 3,57                    | 4   | — »              | 10 хвойных | 45 лиственных |  |
|   |                         |     |                  |            | 40 дуба       |  |
|   |                         |     |                  |            | 30 лиственных |  |
|   |                         |     |                  |            | 60 бука       |  |
| Всего . . . . .                         | 126,00                  | —   |                  |            |               |  |

шими по площади лесами обслуживают главным образом внутренние потребности.

Ежегодный отпуск древесины из лесов Европейской части СССР определяется в 126 млн. м<sup>3</sup>, из которых деловой древесины 50 млн. м<sup>3</sup>, или 40%, и дровяной — 76 млн. м<sup>3</sup>.

Леса Закавказья занимают самую незначительную площадь из всех районов Азиатской части СССР и расположены главным образом на горах, по долинам горных рек и ущелий. Леса этого района отличаются исключительным разнообразием древесных пород. Среди лиственных



Фиг. 1. Лесные районы Европейской части СССР (схема)

Общая площадь лесов Азиатской части СССР вместе с Закавказьем определяется в 760 млн. га, из которых покрытой лесом площади 448 млн. га.

Распределение покрытой лесом площади по районам Азиатской части СССР, процент лесистости и состав лесов приведены в табл. 2 и показаны на схематической карте (фиг. 2).

пород в лесах Закавказья наибольшее распространение имеют бук, дуб, граб, каштан, реже встречается ясень, грецкий орех; из хвойных пород наиболее распространены кавказская пихта и восточная ель. Вследствие трудных условий эксплуатации горных лесов леса Закавказья эксплуатируются очень слабо. Ежегодный отпуск древесины определяется в 3,5 млн. м<sup>3</sup>, в том



числе деловой древесины 1,851 млн. м<sup>3</sup>, идущей как на экспорт, так и на внутренний рынок.

Леса Среднеазиатского района занимают сравнительно большую площадь в 15 млн. га, но состоят главным образом из зарослей саксаула и горного кустарника. Из всей покрытой лесом площади саксаулом занято около 60%, хвойными породами — 30% и лиственными — 10%. Из хвойных пород в этом районе произрастают тяньшанская ель, пихта, древовидный можжевельник (в горах Казахстана и в Киргизии) и сосна (по песчаным полосам вдоль больших рек: Иртыша, Ишима, Тобола); из лиственных пород — грецкий орех, миндаль, в поймах рек — тополь и ива. Лесистость этого района составляет лишь 4%, леса расположены большей частью в горах и трудно доступны эксплуатации, в доступной же части имеются лишь небольшие запасы. Размер ежегодного пользования определен в 3,249 млн. м<sup>3</sup>.

В лесах Западносибирского района, в который входят и леса азиатской части Уральской области, наибольшее распространение имеют сосна и ель, затем кедр и наконец лиственница. Лиственные леса состоят главным образом из березы. Леса Западносибирского района эксплуатируются очень неравномерно. Наиболее интенсивная эксплуатация ведется в лесах азиатской части Уральской области, дающей 62% ежегодного отпуска. Общий размер ежегодного сметного отпуска для Западносибирского района определен в 28,278 млн. м<sup>3</sup> древесины, в том числе деловой — 6,435 млн. м<sup>3</sup>, или 23%.

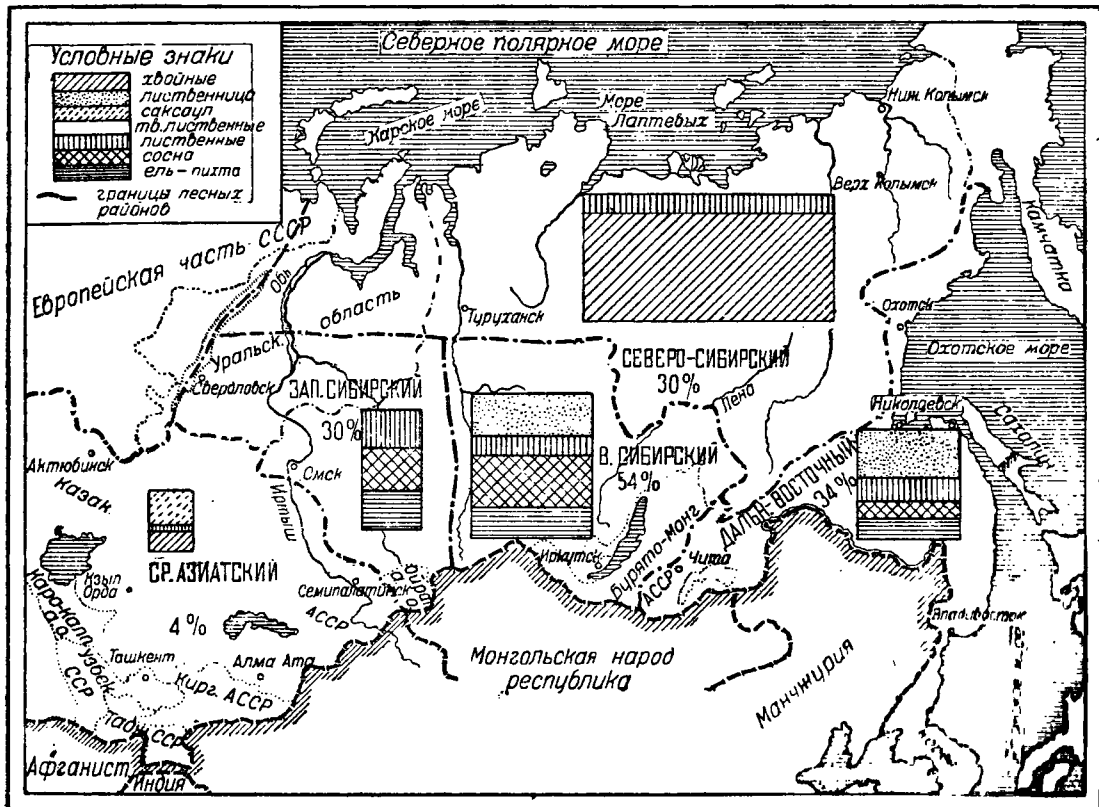
В Восточносибирском районе сосредоточены наибольшие по площади лесные массивы СССР.

Леса этого района характеризуются значительным количеством лиственницы и небольшой примесью лиственных пород. Эксплуатация ле-

Таблица 2

Лесные ресурсы Азиатской части СССР

| Лесные районы             | Площадь, покрытая лесом в млн. га | Лесистость в % | Состав лесов в %   |
|---------------------------|-----------------------------------|----------------|--|
| Закавказье . . . . .      | 3,3                               | 17             | 80 лиственных, 20 хвойных  |
| Среднеазиатский . . . . . | 15,0                              | 4              | 60 саксаула, 30 хвойных, 10 лиственных                           |
| Западная Сибирь . . . . . | 41,7                              | 30             | 30 сосны, 30 ели, 10 кедра, 30 лиственных                        |
| Восточная " . . . . .     | 108,7                             | 54             | 34 сосны, 24 лиственницы, 18 ели и пихты, 12 кедра               |
| Северная " . . . . .      | 2'0,3                             | 30             | 12 лиственных  |
| Дальний Восток . . . . .  | 68,6                              | 34             | 90 хвойных, 10 лиственных  |
| Всего . . . . .           | 447,6                             |                | 45 лиственницы, 20 ели и пихты, 15 кедра и сосны и 20 лиственных |



Фиг. 2. Лесные районы Азиатской части СССР (схема)

сов — далеко не полная, и древесина идет в основном на внутренний рынок.

Леса Северо-Сибирского района, включающего северные районы Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока и Камчатку, занимают около 62% всей покрытой лесом площади СССР. Район этот граничит с тундрой, отличается неблагоприятными условиями для произрастания леса, очень мало освоен, а поэтому и сведения о нем очень неточны. В лесах западной части этого громадного района преобладают сосна, ель с пихтой и кедр, в восточной части и на Камчатке — лиственница. Из лиственных пород здесь произрастают береза и осина и на Камчатке — береза Эрмана.

Леса Дальневосточного района, расположенные в бассейне рек Амура и Усури, а также и на побережье Японского и Охотского морей и в Северной части острова Сахалина, отличаются большим разнообразием древесных пород. В состав их входят: лиственница, ель, пихта, сосна, кедр и лиственные породы. Лиственница встречается повсюду за исключением южной части (Владивостокского района) и Сахалина, сибирский кедр растет главным образом в Забайкалье, корейский — по всему Уссурийскому краю (Хабаровский и Владивостокский районы), ель и пихта — в пределах Уссурийского края, а также на севере, в бассейне р. Амура и на Сахалине.

Лиственные породы имеют большое распространение в Уссурийском крае и в бассейне р. Амура. Наиболее ценны и наиболее часто встречаются: ясень манчжурский, береза желтая, дуб монгольский, реже встречаются орех манчжурский, ильм японский и бархат амурский. Леса Дальневосточного края трудно доступны для эксплуатации и мало еще освоены. Ежегодный отпуск определяется в 37,112 млн. м<sup>3</sup>, в том числе деловой древесины 18,216 млн. м<sup>3</sup> (т. е. около 50%). Древесина из лесов этого района идет в значительной степени на экспорт, а также и на удовлетворение потребностей внутреннего рынка.

Покрытая лесом площадь Европейской и Азиатской частей Союза по преобладанию пород распределяется следующим образом:

1) С преобладанием хвойных пород:

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| ели и пихты . . . . .              | 95 млн. га |
| сосны . . . . .                    | 94 » »     |
| лиственницы . . . . .              | 75 » »     |
| кедра . . . . .                    | 25 » »     |
| древянного можжевельника . . . . . | 2 » »      |

Итого . . . . . 291 млн. га

2) С преобладанием лиственных пород:

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| березы . . . . .            | 42 млн. га |
| осины . . . . .             | 12 » »     |
| сайгаула . . . . .          | 7,5 » »    |
| дуба . . . . .              | 4,7 » »    |
| бука . . . . .              | 1,8 » »    |
| липы . . . . .              | 1,2 » »    |
| ольхи . . . . .             | 0,6 » »    |
| тополя . . . . .            | 0,6 » »    |
| клена ж. и веня . . . . .   | 0,2 » »    |
| граба . . . . .             | 0,2 » »    |
| ореха . . . . .             | 0,134 » »  |
| фисташки . . . . .          | 0,136 » »  |
| миндаль . . . . .           | 0,038 » »  |
| прочих лиственных . . . . . | 6,892 » »  |

Итого . . . . . 78 млн. га

3) С неизвестным распределением . . . . . 205 » »

Всего . . . . . 574 млн. га

Таким образом покрытая лесом площадь, учтенная по преобладающим древесным породам, составляет 369 млн. га и распределяется между хвойными и лиственными породами в следующем соотношении: насаждениями с преобладанием хвойных пород занято 291 млн. га, или 80%, а насаждениями с преобладанием лиственных пород — 78 млн. га, или 20%.

## 2. Основные древесные породы<sup>1</sup>

### 1) Хвойные породы (табл. 3)

Наиболее распространенными древесными породами в СССР являются хвойные породы. Ствол их в большинстве случаев высокий, прямой, полнодревесный, в нижней части в густых насаждениях хорошо очищен от сучьев или имеет тонкие сухие сучки. Древесина хвойных пород не имеет сосудов и древесных волокон, а состоит из трахеид и паренхимных клеток, содержит смоляные ходы и отличается от древесины лиственных пород однообразным строением в поперечном разрезе резко выделяющимися годовыми кольцами и наличием смоляных ходов в виде желтоватых точек.

Хвойные породы имеют наибольшее применение в строительстве.

Сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*). Благодаря нетребовательности в отношении почвы и климата сосна произрастает от крайнего севера до самого юга (Крым, Кавказ) и от Белоруссии до Тихого Океана. Она образует или чистые насаждения или растет вместе с елью и лиственными породами. В зависимости от климатических и почвенных условий сосна характеризуется различной энергией роста как по диаметру, так и в высоту, почему в одном и том же возрасте может иметь различные размеры. В лучших условиях в возрасте около 120 лет сосна имеет диаметр на высоте груди (1,3 м от земли) — 35—40 см, высоту 27—32 м, а в худших условиях в том же возрасте диаметр 20—27 см, а высоту 18 м. Техническая спелость сосны средних районов Союза наступает в 80—120 лет, а северных районов — в 160—200 лет. Сосна — порода светолюбивая, поэтому деревья, выросшие смолоду в густом насаждении, имеют высокоочищенный от сучьев ствол, допускающий выход деловой древесины до 9—10 м, деревья же, выросшие в менее сомкнутых насаждениях, очищены от сучьев на высоту только 5—8 м. Сучья расположены в мутовках, и ближе к кроне заросшие сучки дают на стволе вздутие.

Кедр сибирский (*Pinus sibirica*) относится к тому же роду, что и сосна. Он имеет большое распространение в Сибири, где образует или чистые насаждения или растет в смеси с елью. Кедр произрастает и на крайнем северо-востоке Европейской части Союза у подножья Уральского хребта, преимущественно на глубоких, влажных, богатых почвах. Кедр — порода сравнительно теневыносливая, растет медленно и достигает технической спелости в возрасте около 200 лет. Очищается от сучьев плохо, на стволе его бывает много тонких сухих сучков.

Ель обыкновенная (*Picea excelsa*), как и сосна, распространена в Европейской части Союза, главным образом на севере и северо-западе. К почве она более требовательна, чем сосна,

<sup>1</sup> См. табл. 3 и 4.

## Хвойные породы

| Название   | Цвет древесины                                     |   | Годовые слои  | Сердцевинные лучи                      | Смоляные ходы                                  | Свойства древесины                                       | Кора  |
|--|--|---|---|--|--|--|---|
|  | оболонь  | ядро  |   |  |  |  |   |
| Сосна обыкновенная<br>( <i>Pinus silvestris</i> )  | Оболонь желтоватобелая, широкая, резко выраженная  | Ядро буровато-красного цвета, в свежесрубленном состоянии ядро по цвету мало отличается от оболочки, впоследствии оно темнеет | Годовые слои различаются ясно   | Сердцевинные лучи узкие, едва заметные | Смоляные ходы хорошо заметны                   | Древесина сравнительно мягкая, блестящая, легко колется  | Кора в нижней части ствола с поверхности серовато-бурая, глубже красно-бурая, имеет вид толстых чешуек. В верхней части ствола тонкая желтоватая, гладкая |
| Кедр сибирский<br>( <i>Pinus sibirica</i> )        | Оболонь желтоватобелая, широкая, выражена не резко | Ядро буровато-красное или светлорозоватое   | Годовые слои правильно округлены, различаются ясно; весенняя древесина постепенно переходит в более темную летнюю | Сердцевинные лучи слабо заметные       | Смоляные ходы большие, хорошо заметны          | Древесина мягкая, легкая, хорошо колется                 | Кора коричнево-серая с трещинами. В молодости гладкая темнозеленая  |
| Ель обыкновенная<br>( <i>Picea excelsa</i> )       | Оболонь не отличается по цвету от спелой древесины | Спелая древесина белая, с желтоватым оттенком, блестящая  | Годовые слои различаются ясно; весенняя древесина постепенно переходит в летнюю                                   | Сердцевинные лучи не видны             | Смоляные ходы заметные, в небольшом количестве | Древесина мягкая и легкая                                | Кора красноватая, или сероватая, с трещинами и округлыми чешуйками  |
| Лиственница сибирская<br>( <i>Levich malinka</i> ) | Оболонь узкая, желтоватобелая, резко выраженная    | Ядро красноватобурого цвета   | Годовые слои ясные, слегка волнообразные  | Сердцевинные лучи не видны             | Смоляные ходы хорошо заметные, многочисленные  | Древесина тяжелая, твердая, очень прочная, легко колется | Кора толстая, сверху сероватая, глубже яркочерная с трещинами   |

Хорошо растет на свежих суглинистых или супесчаных почвах. Ель образует или чистые насаждения или смешанные с пихтой, сосной, осиной и березой. В хороших условиях роста в возрасте 120 лет она имеет диаметр на высоте груди 35—40 см и высоту 30 м. Ель — порода очень теневыносливая, поэтому очищается от сучьев очень плохо. Ствол — прямой, мало сбежистый, в нижней части ствола остаются тонкие сухие, горизонтально торчащие сучья. Сучья в бревнах и досках двух родов: мутовчатые (большие) и межмутовчатые (мелкие).

Ель сибирская (*Picea obovata*) растет в Азиатской части Союза от Урала до Тихого океана, встречается и в северо-восточном углу Европейской части Союза.

По внешнему виду деревьев и по древесине ель сибирская очень похожа на ель обыкновенную.

Лиственница сибирская (*Larix sibirica*) произрастает в Сибири и в северо-восточном районе Европейской части Союза. Она образует или чистые насаждения или растет в смеси с хвойными и лиственными породами. К почве не слишком требовательна, растет на рыхлых супесчаных почвах, на легких суглинках и в горах на известковистых почвах. Сибирская лиственница — порода очень светолюбивая, быстро растущая. В хороших условиях роста в возрасте 150 лет имеет диаметр 45 см, высоту до 32 м. Ствол — ровный, прямой, высокоочищенный от сучьев. Сучья расположены без всякого порядка.

Древесина — тяжелая, твердая, очень прочная даже в условиях переменного увлажнения, легко колется; особенно ценится для судостроения, в мостовом и гидротехническом строительстве.

Лиственница даурская (*Larix daurica*) растет в Забайкалье и на Дальнем Востоке, где ее особенно много в верховьях Амура и на северном побережье. В хороших условиях роста отличается высоким, стройным, хорошо очищенным от сучьев стволом. Древесина ее мало изучена, по внешнему виду очень похожа на древесину лиственницы сибирской.

## 2) Лиственные породы (табл. 4)

Лиственные породы в целом имеют меньшее распространение, чем хвойные. Стволы их менее правильной формы и более сбежистые. Древесина содержит многочисленные сосуды различной величины, сочетание которых дает для некоторых пород характерную текстуру. Граница годовых слоев выражена менее ясно, чем у хвойных пород. Сердцевинные лучи у некоторых пород большие, ясно заметные, у других пород выражены слабо.

Для строительных целей лиственные породы употребляются гораздо реже, чем хвойные, преимущественно в виде деталей креплений из твердого дерева.

Дуб летний (*Quercus pedunculata*) — самая ценная лиственная порода Европейской части Союза. Растет главным образом в средней и южной полосе. Предпочитает черноземные, суглинистые и влажные супесчаные почвы. Ствол дуба, в молодости искривленный, с возрастом выравнивается и достигает до 40 м по высоте и 1 м по диаметру. Порода — светолюбивая и, произрастая в смеси с другими лиственными породами, высоко очищается от сучьев.

Ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*) произрастает в средней и южной полосе Европейской части Союза, а также в Крыму и на Кавказе. В средней и южной полосе Союза в возрасте 120—140 лет имеет диаметр 40—45 см, высоту — 26—28 м; на Кавказе такого же размера достигает в возрасте 70—80 лет. К почве очень требователен, любит плодородные суглинистые почвы, хорошо увлажненные и с примесью извести, однако растет и на трясинах с проточной водой и в поймах рек. Чистых насаждений ясень не образует, но растет в смеси с другими лиственными породами. Порода — светолюбивая и в сомкнутых насаждениях дает прямой, ровный, высокоочищенный от сучьев ствол.

Крупные сосуды образуют кольцо в весенней части годового слоя и ясно отграничены от мелких сосудов, равномерно разбросанных в летней части слоя.

Древесина — твердая, гибкая, тяжелая, трудно колется. Кора — в молодости гладкая зеленовато-серая, позже — серая с продольными трещинами.

Каштан (*Castanea vesca*) произрастает в Крыму и на Кавказе. Высоко в горы не поднимается, предпочитает плодородные влажные почвы. В хороших условиях роста в 70—80 лет достигает по диаметру 50 см, в высоту — 30 м. Ствол прямой, хорошо очищается от сучьев.

Древесина по внешнему виду очень похожа на древесину дуба, но не имеет ясных сердцевинных лучей, которые хотя и многочисленны, но очень узки и плохо заметны.

Бук (*Fagus sylvatica*) принадлежит к числу наиболее распространенных древесных пород на Кавказе и в Крыму. Растет в горах на высоте 760—1200 м над уровнем моря в тенистых защищенных местах на свежих перегнойных почвах. Ствол — прямой, довольно полнодревесный, высоко очищен от сучьев. Доживает до 300 лет и достигает больших размеров, но старые деревья повреждаются напелной гнилью. Наиболее здоровые деревья в возрасте 150 лет имеют диаметр 38—40 см и высоту 32—33 м.

Гр аб (*Garpinus betulus*) произрастает в юго-западном районе Европейской части Союза, а также в Крыму и на Кавказе. К почве не слишком требователен, растет и на мелких каменистых сухих почвах, но особенно больших размеров не достигает. Ствол — неровный, с продольными впадинами по всей длине.

Береза (*Betula verrucosa* и *B. pubescens*) является самой распространенной лиственной породой как в Европейской, так и в Азиатской частях Союза. К почве нетребовательна, может расти везде, но предпочитает свежие суглинистые и супесчаные почвы. Наиболее распространены два вида березы: береза бородавчатая (*B. verrucosa*) и береза пушистая (*B. pubescens*), произрастают они совместно. Береза бородавчатая имеет более сбежистый ствол и темную, толстую в нижней части ствола кору. Береза пушистая имеет более стройный ствол и гладкую белую кору с тонкими отстающими пластинками. Береза — светолюбивая и быстро растущая порода. Недолговечна и редко доживает до 150 лет. Древесина двух названных видов берез между собой не отличается.

О с и н а (*Populus tremula*) встречается как в Европейской части Союза, так и в Сибири, на Дальнем Востоке, в Туркестане, в Крыму и на Кавказе. Хорошо растет на богатых, свежих почвах. Порода — светолюбивая, хорошо очищается

## Лиственные породы

| Название  | Цвет древесины                              |   | Годовые слои   | С о с у д ы   |  | Сердцевинные лучи  | Свойство древесины   | Кора  |
|---|---|---|--|---|--|--|--|---|
|   | оболонь                                     | ядро  |  | крупные   | мелкие   |  |  |   |
| Дуб летний<br>( <i>Quercus pedunculata</i> )                | Оболонь узкая, желтоватая, редко выраженная | Ядро светл-бурое или темное                                 | Годовые слои различаются ясно  | Крупные сосуды расположены кольцами в весенней части слоя и резко отделяются от осенней   | Мелкие сосуды сгруппированы радиальными полосками              | Сердцевинные лучи широкие и узкие, ярко выражены   | Древесина тяжелая, твердая, крепкая, вязкая, прочная, хорошо колетса   | Кора серая, очень толстая с глубокими трещинами, в молодости гладкая блестящая  |
| Ясень обыкновенный<br>( <i>Fraxinus excelsior</i> )         | Оболонь широкая, желтовато-белая            | Ядро светл-бурое  | Годовые слои различаются ясно  | Крупные сосуды расположены кольцом в весенней части слоя и ясно отграничиваются от мелких | Мелкие сосуды равномерно разбросаны в летней части слоя        | Сердцевинные лучи тонкие и многочисленные  | Древесина твердая, тяжелая, гибкая, трудно колетса   | Кора серая с продольными трещинами, в молодости гладкая желтовато-серая   |
| Каштан<br>( <i>Castanea vesca</i> )                         | Оболонь узкая, светл-желтая                 | Ядро темн-бурое   | Широкие годовые слои различаются ясно  | Крупные сосуды расположены кольцом в несколько рядов в весенней части слоя                | Мелкие сосуды расположены радиальными ветвистыми полосками     | Сердцевинные лучи многочисленные, но очень узкие и неясные                               | Древесина легче и мягче, чем дубовая, прочная, хорошо колетса  | Кора серая, гладкая и лишь у толстых деревьев имеет трещины   |
| Бук<br>( <i>Fagus sylvatica</i> )                           | Древесина красновато-белого цвета           | Ложное ядро темн-бурого цвета, появляется у старых деревьев | Годовые слои ясно заметны, округлые, но у сердцевинных лучей загибаются внутрь   | Нет   | Мелкие сосуды равномерно разбросаны по годовому слою           | Сердцевинные лучи широкие и узкие, ясно заметные, очень блестящие                        | Древесина твердая, тяжелая, крепкая, плотная, гибкая, легко колетса. В условиях переменной влажности непрочная | Кора серая гладкая  |
| Граб<br>( <i>Carpinus betulus</i> )                         | Древесина желтовато-белая, блестящая        | Нет   | Годовые слои слабо заметны, неравномерной ширины, у сердцевинных лучей изогнутые | Нет   | Мелкие сосуды расположены радиальными не вполне ясными линиями | Сердцевинные лучи узкие и широкие (образованные из группы узких лучей, ложные) блестящие | Древесина твердая, тяжелая, крепкая, трудно колетса, в сухом виде прочная                                      | Кора серая, гладкая неравномерной толщины   |
| Береза<br>( <i>Betula verrucosa</i> , <i>B. pubescens</i> ) | Древесина желтоватая или красновато-белая   | Нет   | Годовые слои неясны  | Нет   | Мелкие сосуды расположены зигзагообразными линиями             | Сердцевинные лучи очень узкие, слабо заметные  | Древесина твердая, крепкая, довольно тяжелая. В условиях переменной влажности непрочная                        | Кора у березы «бородавчатой» темная, в нижней части толстая, у березы пушистой гладкая, белая с отслаивающимися чешуйками |
| Ольха<br>( <i>Populus tremula</i> )                         | Древесина белая                             | Нет или ложное темного цвета                                | Годовые слои слабо заметны   | Нет   | Мелкие сосуды равномерно разбросаны по годовому слою           | Сердцевинные лучи не видны   | Древесина мягкая, легкая, хорошо колетса. В сухом месте прочная  | Кора толстая, серая с трещинами, в молодости гладкая беловато-зеленая   |
| Рябина черная, обыкновенная<br>( <i>Rubus nigra</i> )       | Оболонь широкая, желтовато-белая            | Ядро светл-бурое  | Годовые слои заметны, против трещин коры многогранные                            | Нет   | Мелкие сосуды равномерно разбросаны по годовому слою           | Сердцевинные лучи узкие, на торцевом срезе неясны, на радиальном ясно видны, блестящие   | Древесина мягкая и легкая  | Кора толстая с глубокими трещинами  |

от сучьев. Ствол осины — прямой, правильной цилиндрической формы. Старые стволы часто повреждены напеченной гнилью.

**Тополь черный** (*Populus nigra*), или оскорь, — высокое дерево, растущее главным образом в южной и, реже, в средней полосе Европейской части Союза по поймам рек и заливаемым островам. Светлолюбивая и быстро растущая порода, достигающая 30 м высоты. Ствол — довольно прямой и ровный.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проф. Орлов М. М., Леса СССР, статистический обзор, 1931 г.

2. Инж.-техн. Селибер Б., Леса и лесная промышленность СССР, т. I, 1933 г.

3. Заборовский Е. П., Лесная ботаника, 1932 г.

4. Проф. Терлецкий А. И., Определитель древесины, ГНТИ, М. — Л. 1931 г.

5. Турский М. и Яшнов Л., Определитель древесины, ветвей и семян главных пород древесных и кустарниковых пород по таблицам, 1908 г.

6. Агеев С. М., Технология дерева, 1932 г.

7. Абраменко С. А. и Фишер Б., Определитель важнейших древесных пород СССР, 1933 г.

8. Медведев Я. С., Деревья и кустарники Кавказа, 1919 г.

9. Овсянников В. Ф., Хвойные породы, 1930 г.

10. Овсянников В. Ф., Лиственные породы, 1930 г.

*Инж. А. М. БАРАКС*

## II. ЗАГОТОВКА, ТРАНСПОРТИРОВКА, ХРАНЕНИЕ, СУШКА И ОБРАБОТКА ДРЕВСИНЫ

### 1. Общие сведения

Древесина как сырье для строительных целей добывается главным образом из хвойных лесов.

Леса вообще, и хвойные в частности, в целях эксплуатации разбиваются лесоводами на участки, более или менее однородные по своему составу (смешению пород), возрастам, условиям произрастания (бонитету) и состоянию (добротности). Такие обособленные участки леса, выделенные из общей площади массива, носят название насаждений. В спелом возрасте насаждения могут давать далеко не одинаковые по размерам, количеству и спецификации сортименты срубленных стволов. По характеру срубленной древесины все насаждения грубо делятся на товарные (деловые) и нетоварные (дровяные).

Основной характеристикой тех или иных насаждений является их бонитетность. Нормально различают пять бонитетов. Товарные насаждения, т. е. такие, которые дают в спелом возрасте стволы строевых и пиловочных размеров, главным образом характеризуются бонитетами I, II и III. Наиболее ценным для хозяйственных целей является бонитет I, который в спелом возрасте дает максимум стволов наиболее крупных размеров как по высоте, так и среднему диаметру. Бонитет IV является промежуточным между деловыми и дровяными насаждениями. Бонитет V дает стволы исключительно дровяные. Каждому бонитету присущ в спелом возрасте свой максимум числа стволов и количества (запас) древесины, выраженный в куб. метрах на 1 га.

Оценка насаждений для целей заготовки и получения тех или иных сортиментов производится: 1) по средней высоте верхнего яруса насаждения, составленного из «господствующих» и «согосподствующих» деревьев; 2) по расположению кроны в верхнем пологом леса; 3) по среднему диаметру тех же деревьев; 4) по полноте насаждения, выраженной в десятых долях от «нормального насаждения» (т. е. такого, где кроны деревьев хорошо сомкнуты и образуют сплошной полог, без просветов и прогалин); 5) по среднему запасу, выраженному в куб. метрах плотной древесины, главным образом его стволовой части, и 6) по составу, т. е. процентному соотношению пород, растущих на данном однородном по прочим признакам участке леса (насаждений).

Рубка леса для строительных надобностей производится в хозяйственно-спелых насаждениях, т. е. таких, где подавляющее большинство деревьев уже достигло товарных размеров. В различных бонитетах хозяйственная спелость разных пород колеблется в широких пределах (в средней полосе хвойных лесов от 60 до 140 лет) и при оценке леса сравнивается с «Таблицами хода роста нормальных насаждений», приведенными в лесных справочниках для отдельных географических районов и бонитетов. Нормальные таблицы хода роста предусматривают чистые насаждения, т. е. состоящие из одной породы, в отличие от смешанных насаждений, в состав которых входит несколько пород.

Оценку, или таксацию, леса производят обычно применительно к главной породе, т. е. породе, имеющей хороший спрос, а не по господствующей породе, если последняя имеет второстепенное экономическое значение.

Современная заготовка древесины требует механизации не только самой заготовки (рубки леса), но и транспорта, ибо в себестоимости круглого леса именно стоимость транспорта составляет наиболее значительную часть.

Механизация отдельных процессов заготовки и транспорта требует концентрации рубок, т. е. производства валки и разделки древесины на лесные сортименты по возможности в одном месте с большой площадью и в достаточном количестве с таким расчетом, чтобы произведенные капитальные затраты смогли окупить себя в течение короткого срока заготовки и вывозки всего запаса древесины с данного эксплуатационного участка. Эта предпосылка рентабельности затрат вызывает необходимость обязательного составления эксплуатационного плана заготовки и транспорта древесины из предоставленной в пользование сырьевой базы.

В основном эксплуатационный план должен содержать следующие данные:

1. Подробное инвентарное описание всех лесонасаждений, входящих в состав данного лесохозяйственного района (сырьевая база), по всем приведенным выше признакам.

2. План лесонасаждений с выделением всех спелых и приспевающих участков, примерно одинаковых по условиям транспорта древесины.

3. Подсчет запаса товарной древесины в каждом из выделенных лесохозяйственных участках.

4. Взаимную связь и последовательность (очередность) рубки в отдельных участках с разбивкой последних по сезонности рубки в зависимости от условий и вида транспорта (водный, железнодорожный, конный, автомобильный).

5. Проектную стоимость затрат по каждому из видов транспорта и выявление рентабельности их в соответствии со сроком службы и плотностью движения лесных грузов.

6. Методы валки леса, доставки срубленной древесины к вывозным путям (трелевки) и степень их механизации.

7. Подсчет стоимости по заготовке и транспорту древесины к местам потребления или массовой обработки в наиболее выгодном варианте по местным условиям.

8. Технический проект по отдельным операциям заготовки и транспорта.

9. Очередность и организацию работ отдельно по годам на весь предполагаемый срок эксплуатации лесохозяйственного района в зависимости от размера ежегодного отпуска по району.

## 2. Заготовка

### 1) Валка леса

Валка леса может производиться круглый год, несмотря на существующее еще мнение, что рубку леса для строительных целей необходимо производить только в зимнее время, когда закончилось сокодвижение. В разные лесозаготовительные сезоны валка леса имеет свои преимущества и недостатки, но в конечном итоге при правильно выбранных методах хранения срубленной древесины в лесу и на складах время заготовки на качество древесины не сказывается. При заготовке в зимнее время легче транспортировать древесину, легче ее хранить (благодаря низкой температуре), но труднее готовить и при валке леса нельзя добиться той производительности труда, какой можно достичь при летних заготовках.

Влажность древесины, заготовленной в летнее и зимнее время, отличается лишь незначительно, продолжительность же сушки летом короче, что особенно важно при заготовке строевых бревен.

Таблица 1

Средний процент влажности лиственных и хвойных пород в зависимости от времени заготовки<sup>1</sup>

| Месяц заготовки    | Для европ. листь. пород        |                              | Для европ. хвойн. пород (среднее из 5) |
|--------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
|                    | твердые породы (среднее из 16) | мягкие породы (среднее из 8) |  |
| Январь . . . . .   | 69                             | 108                          | 150                                    |
| Февраль . . . . .  | 61                             | 108                          | 138                                    |
| Март . . . . .     | 56                             | 104                          | 144                                    |
| Апрель . . . . .   | 56                             | 96                           | 117                                    |
| Май . . . . .      | 64                             | 89                           | 150                                    |
| Июнь . . . . .     | 54                             | 89                           | 156                                    |
| Июль . . . . .     | 64                             | 100                          | 150                                    |
| Август . . . . .   | —                              | —                            | —                                      |
| Сентябрь . . . . . | 61                             | 89                           | 138                                    |
| Октябрь . . . . .  | —                              | —                            | —                                      |
| Ноябрь . . . . .   | 52                             | 82                           | 138                                    |
| Декабрь . . . . .  | —                              | —                            | —                                      |

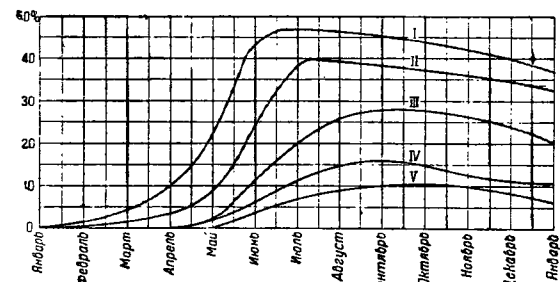
<sup>1</sup> По Гартигу.

Древесина на корню имеет 50—150% влажности по отношению к 100% ее сухого веса. Точно определить влажность нельзя, так как она колеблется не только у разных пород, но и в пределах одной породы в зависимости от бонитета и хода роста.

Средний процент влажности лиственных и хвойных пород, отнесенный к сухому весу древесины, в зависимости от времени заготовки виден из табл. 1.

Распределение влажности в свежесрубленной древесине неодинаково, а именно: заболонь всегда имеет большую влажность, чем ядро (в 1,5—2 раза). У безъядерных пород влажность спелой древесины, т. е. расположенной ближе к сердцевине, будет всегда меньше. Вдоль ствола влажность также распределена неодинаково, так например, у хвойных пород чем ближе к комлю, тем влажность выше. У лиственных пород максимум влажности лежит примерно у середины ствола.

Срубленная древесина довольно быстро начинает терять свою влажность, но по истечении 4—6 месяцев высыхание ее сильно замедляется.



Фиг. 1. Диаграмма хода сушки дерева в бревнах в зависимости от способа заготовки бревен — потеря веса в процентах от первоначального веса при 100, 50, 20 и 0% снятой коры: I — ель, совершенно окоренная, II — окоренная до 50%, III — ель, окоренная до 20%, IV — ель неокоренная, V — сосна неокоренная

Это объясняется тем, что заболонь, расположенная непосредственно у поверхности испарения (ствола) и более влажная, быстрее отдает свою свободную влагу. Влажность же ядра или спелой древесины очень близка к точке насыщения волокна (25—30%), т. е. состоит главным образом из влаги, связанной со стенками клеточек (имбибиционной), и потому при высыхании древесины на открытом воздухе в естественных условиях испаряется труднее и медленнее.

Продолжительность сушки тем больше, чем больше удельный вес древесины. Кроме того испарение влаги идет гораздо быстрее (до 70%) с торца, чем с боковой поверхности, а еще быстрее — через крону, поэтому при валке деревьев полезно отделить крону от ствола не сразу, а спустя некоторое время (через 8—10 дней), что снижает довольно значительно первоначальную влажность (на 5—8%). На фиг. 1 дана диаграмма хода сушки дерева (в бревнах) в зависимости от способа заготовки бревен — в коре целиком или с окоркой<sup>2</sup>.

Валка леса обычно распадается на следующие этапы: а) отделение ствола дерева от пня путем срубki топором или отпиливания под корневую

<sup>2</sup> По данным Экмана (Швеция), см. Е k m a n, *Handbok i skogsteknologi*.

шейку; б) очистка ствола от сучьев и коры; в) разметка и разделка ствола на деловые сортаменты и дровяную часть; г) сортировка разделанной на сортаменты древесины; клеймение деловой части и подготовка к транспорту.

#### а) Отделение ствола

Отделение ствола производят при помощи пил с подрубной или подрезной ствола. Повал леса производят параллельно границам лесосеки; при этом оси поваленных стволов стараются расположить параллельно друг другу, не допуская перекрещивания стволов и сохраняя направление комлей в сторону линии подтащивания или вывозки.

Отделение ствола только топором давно оставлено из-за большой потери древесины в наиболее ценной комлевой части ствола и неровности линии среза, что представляет неудобство при дальнейшей разделке древесины; подруб топором на линии валки также дает потерю древесины, поэтому наиболее рациональна выпилка клиновидного сучаря пилой.



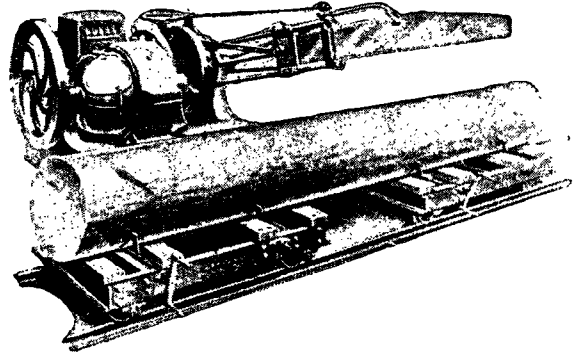
Фиг. 2. Одноручная пила «Компис»

Для этой цели применяются пилы: двуручные, одноручные (ножовки) или лучковые (при тонком или мелком лесе). Зубья пил имеют заточку и развод для распиловки поперек волокон и обязательно «выносные» зубья через каждые 10—15 рабочих зубьев. В отличие от рабочих зубьев выносные зубья имеют прямую, а не косую заточку, а высоту — несколько меньшую, чем рабочие зубья (на 1—2 мм). Как показал опыт, при минимальной величине развода (0,46 мм) пила в процессе пиления не заедается, легче выносит опилки и дает большую производительность (не менее как на 15%).

В насаждениях средней толщины по диаметру 24—28 см на высоте груди удобно пользоваться одноручной пилой типа «Компис» (фиг. 2) с пружинами, растягивающимися при холостом ходе пилы и сжимающимися при рабочем ходе, что сильно облегчает труд лесоруба. По нашим и шведским наблюдениям производительность труда при работе повышается на 80% и выше, несмотря на дополнительную затрату времени на установку и закрепление пружины. Кроме ручных пил существуют и находят себе применение моторные пилы.

Моторные пилы по конструкции пильного полотна делятся на два типа: 1) хвостовые пилы (фиг. 3) и 2) цепные пилы (фиг. 4).

В хвостовых пилах полотенец в виде ножовки закрепляется своим основанием на шатуне или пальце кривошипа приводного вала и приводится в движение от двигателя внутреннего сгорания или электромотора. Моторные пилы этого типа



Фиг. 3. Хвостовая пила «лисий хвост»

применяются главным образом на лесных биржах для раскряжковки.

Цепная пила представляет собой бесконечную звеньевую фрезерную цепь, натянутую между двумя звездочками (шкивами), из коих ведущая получает свое движение от рабочего вала двигателя внутреннего сгорания. Несмотря на ряд удачных конструктивных решений в отдельных моделях приводных механических пил и высокую рабочую производительность, всем им присущи следующие недостатки: а) сравнительно большой вес и громоздкость; б) высокий процент потерь рабочего времени, падающий на перенос пилы от дерева к дереву; в) затруднительность установки, особенно в зимнее время; г) частые поломки приводного механизма и разрыв цепных пил; д) высокая амортизация при коротком сроке службы; е) необходимость иметь квалифициро-



Фиг. 4. Цепная пила переносная

ванную бригаду слесарей и мотористов, что затруднительно при работах в лесу.

Проведенные опыты широкого применения моторных пил при валке леса показали низкую их производительность (40—45% против обыкновенной двуручной поперечной пилы).



## б) Очистка ствола

Очистка ствола от сучьев производится топором вручную. Лучшие результаты дают «окорочные» топоры особой формы и специальной заточки лезвия. Щеки окорочного топора имеют сферическую заточку, выпуклое лезвие и несколько больший вес, чем плотничный топор. Окорочный топор утяжеляется главным образом за счет более массивного обуха, которым часто пользуются при обломке сучьев. Такой топор легко врубается в плотную сучковую древесину и не заедается при ударе.

Очистка ствола от коры (окорка) является почти неизменным условием при заготовке строевой древесины, причем некоторые породы, например сосна, окориваются целиком, а ель — частично, полосами. Окорка предусматривает лучшую сохранность и более быстрое высыхание древесины при хранении на лесных промежуточных складах, что важно как для железнодорожного транспорта, так и при сплаве (повышенная пловучесть древесины).

При соблюдении правил дальнейшего хранения под навесом (для предохранения от выщелачивания) словая кора может быть при окорке использована как сырье-дубитель.

## в) Разметка и разделка ствола на сортименты

При заготовке строительного леса разметка ствола на деловую и дровяную части и подразделение деловой части ствола на отдельные сортименты имеют первостепенное значение.

Строительный лес для общих целей заготавливается бревнами согласно ОСТ 92, заготовка же специальных сортиментов, например для длинных элементов некоторых инженерных сооружений (мачты для линий высокого напряжения), ведется «длинномером» и даже «хлыстами» вне обычных размеров ОСТ. Из всех возможных к заготовке длины размеры 6,5 и 9,5 м наиболее удобны для погрузки на одиночные железнодорожные платформы. Разметка бревен производится обычно специальными разметчиками-бракерами сразу же после очистки ствола от сучьев и коры. При разметке добиваются повышенного процента выхода наиболее ценных сортиментов согласно примерной спецификации бревен, выдаваемой бракеру перед заготовкой в виде ведомости. Для этого прежде всего обращается внимание на наличие в древесине пороков и обязательно вырезается брак (фаут) так, чтобы из здоровой части ствола можно было получить нормальный или кратный по длине сортимент. При здоровой древесине главное внимание обращается на прямизну ствола и закомелистость.

При разметке употребляются следующие инструменты: 1) стальная мерная лента (тканая лента портится от атмосферных влияний при работе в лесу на открытом воздухе), 2) мерная скоба, 3) крючок (вилка), 4) крюк (аншиуг) для легкого и быстрого переворачивания хлыстов вокруг оси при осмотре, 5) клейма-молотки и 6) легкий топор для разметки хлыста путем зарубки линий разреза на отдельные сортименты. Замер хлыста по диаметру на толщину бревна производится вилкой или скобой (с точностью до 1 см) по линии верхнего отруба. Замер произведенных работ учитывается с кубометра пова-

ленной и разделанной на сортименты древесины<sup>1</sup>.

## г) Сортировка древесины

Сортировку бревен лучше всего производить на промежуточных складах вблизи валки леса, чтобы своевременно обнаружить брак и не переплачивать на транспорте древесины, заведомо негодной как строевого материала. Сортировка и браковка срубленной древесины производится согласно ОСТ 608, 609, 610 и 2618 в зависимости от характера заготовки и назначения древесины при дальнейшей переработке. Дровяная часть хлыста и фаут должны разрабатываться и транспортироваться отдельно от деловой древесины.

Небрежность разметки и предварительной сортировки древесины в процессе заготовки в лесу является причиной крупных ошибок и недоразумений, ведущих к потере наиболее ценной части ствола. Ввиду этого бракеры-разметчики должны знать не только пороки древесины, но и технические требования, предъявляемые к заготавливаемой древесине.

## 2) Лесной транспорт

## а) Подтаскивание

Лесной транспорт начинается с подтаскивания бревен или хлыстов к пунктам погрузки и точкам сплава. Подтаскивание (трелевка) в настоящее время в достаточной мере механизировано.

При массовой заготовке древесина подтаскивается к линии (трассе) вывозного пути при помощи воротов и лебедок тросами, причем лесоматериал может подтаскиваться: 1) волоком по земле, 2) полуподвесным способом и 3) подвесным способом (воздушные канатные дороги). Лебедки приводятся в действие конной или паровой тягой или при помощи двигателей внутреннего сгорания и, гораздо реже, электромоторов.

Лебедка (ворот) устанавливается на линии вывозного пути или в непосредственной его близости. Процесс подтаскивания бревен идет по радиусам окружности предельной длины троса сообразно мощности лебедок и системе подтаскивания. При подтаскивании нолоком по земле радиус подтаскивания колеблется в пределах 30—50 м, по снегу — 60—100 м. Если водило, к которому припрягается лошадь, непосредственно закреплено на оси ворота, то барабаны ворота монтируются на вертикальной оси, если же конный привод имеет зубчатое сцепление — барабаны устанавливаются горизонтально, что дает некоторое преимущество при навивании и разматывании троса. Каждый барабан в отдельности имеет с рабочей осью храповое сцепление на муфте, благодаря чему для захвата новой порции бревен (фиг. 5) независимо от вращения рабочего вала трос может сматываться вручную или конной тягой.

Подъемная сила ворота с конным приводом при волочении бревен по земле может быть доведена до 800 кг, т. е. примерно на один раз ворот может подтащить около 1 м<sup>3</sup> древесины<sup>1</sup>.

Для полного охвата площади круга при установке ворота необходимо периодически равновесивать станину ворота по кругу, ибо при одном

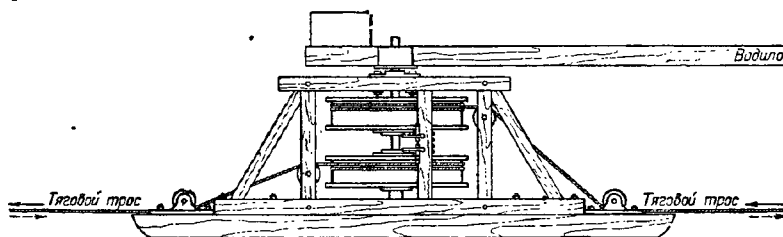
<sup>1</sup> Обмер замеренной древесины учитывается по объему на основании таблиц объема Крюлев-Туровского, ОСТ 379.

положении станины ворота каждый из барабанов охватывает площадь, соответствующую центральному углу не более  $60^\circ$ .

Двухбарабанные ворота работают одновременно по обе стороны от линии вывоза. При средних запасах древесины в наших лесах двухбарабанный ворот работает на одном месте 6—8 час.

Скорость вращения барабанов соответствует скорости движения троса 0,5—0,7 м/сек.

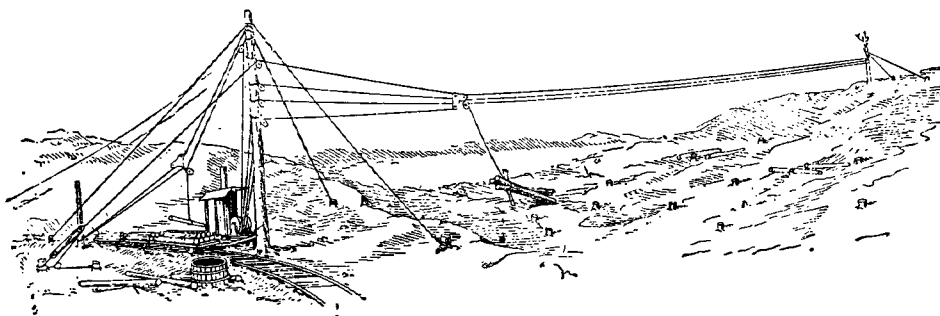
При установке лебедок с механическим приводом радиус действия лебедки в зависимости от запасов древесины составляет от 125 до 175 м. В этом случае лебедка при наличии паровой тяги монтируется на общей станине с двигателем и



Фиг. 5. Лебедка для подтаскивания бревен к линии вывозного пути

Если ворот смонтирован на платформе-санях, перестановка его совершается или путем перенатягивания по линии лежневой дороги или железнодорожного пути или путем подтаскивания ворота вдоль линии вывоза. Перестановка ворота

котлом. Производительность механической приводной лебедки необходимо согласовывать с наличием запасов срубленной древесины, иначе частые перестановки сведут на-нет высокую производительность лебедки.



Фиг. 6. Система подтаски «Лиджервуд»

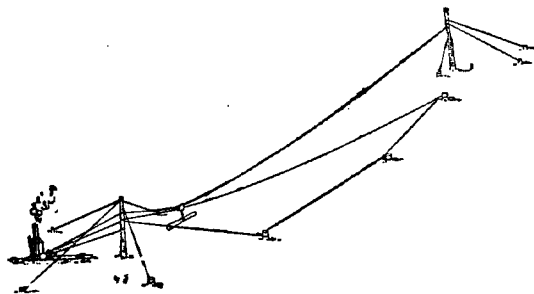
на новое место на расстоянии 30—60 м с укреплением станины на «мертвяки» тросовыми растяжками (для устойчивости ворота при подтаскивании бревен) и перекрытие конного хода вокруг лебедки переносными щитами занимают

При крупных и тяжелых агрегатах на той же станине устанавливается вторая лебедка для перетаскивания агрегата с места на место и для погрузки подтасканных бревен на платформы вывозной линии.

Удлинение базы подтаскивания бревен и пересеченный рельеф мест заготовки часто вызывают необходимость замены метода подтаскивания бревен полуподвешенным способом.

При подтаскивании полуподвешенным способом требуются предварительная разбивка сети поддерживающих тросов, подвеска канатных тележек с блоками-роliками и подвеска тягового троса. Существует несколько систем разбивки тяговой сети: «Лиджервуд» (фиг. 6), «Мак-Ферлан» (фиг. 7), «Дуплекс» (фиг. 8), «Нордбенд» (фиг. 9) и др. Отличие этих систем друг от друга заключается в методах крепления поддерживающего троса (внизу у шней или сверху на стволах оставленных специально для этой цели деревьев) и конструктивными деталями тележек и блоков. Натяжение поддерживающего троса осуществляется при помощи лебедки и закрепляется в натянутом положении прихватками специальной конструкции. Приведенные схемы поясняют основные принципы разбивки.

В горных лесах применяется подвесной способ подтаскивания бревен [воздушно-канатные дороги упрощенного типа, как например ординар-



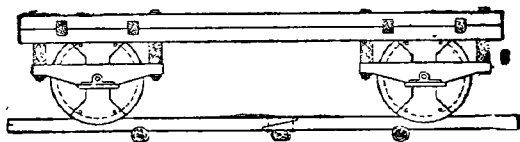
Фиг. 7. Система подтаски «Мак-Ферлан»

2 часа. Полный цикл времени одной установки ворота колеблется в пределах от 8—10 час. Диаметр троса при работе конным приводом равен 6—8 мм.

Для увеличения мощности и производительности ворота барабаны соединяют при помощи лубчатого сцепления с осью лебедки, причем



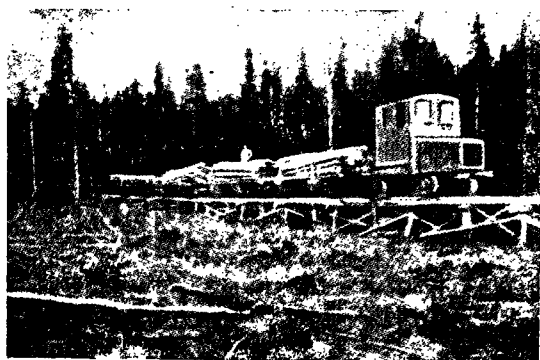
возки материал лежневой дороги идет в депо (клетки астаналы) или на дрова (верхнее строение пути). Никакой специальной отделки лесоматериала, идущего на постройку дороги, кроме окорки верхней поверхности лежней, обработки стыков и сверления дыр под нагель не требуется. Схема разбивки путей и стрелки видны на фиг. 13, конструкция подвижного состава — на фиг. 14. Расстояние между боковыми линиями определяется диаметром действия трелевочных лебедок, т. е. 60—120 м. Главные вывозные магистрали строятся обычно по двух-



Фиг. 14. Простейший тип лежневой тележки широкой колеи 1,20 м при конной тяге. Грузоподъемность 3,5 т, колеса — деревянные двухребордные

путевой системе на расстоянии 250—300 м одна от другой. Ориентировочный подсчет показывает, что на 1 км лежневой дороги падает при этом около 1 000 м<sup>3</sup> древесины, подлежащей вывозке.

Наиболее совершенным типом лежневых дорог является система Видегрена, где конная тяга заменена специального типа автовозом (фиг. 15). Особенностью подвижного состава этого типа являются колеса на резиновом бандаже, тогда как при простейшем типе деревянных колес бандаж делается желобчатым (двухребордным). При перевозке зимой конной тягой у вагонеток



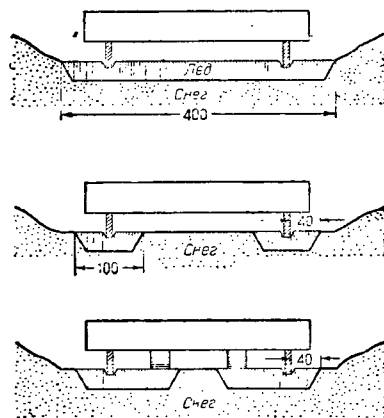
Фиг. 15. Лежневая дорога с механической тягой системы Видегрена

простейшего типа колеса заменяются ползками с желобчатым профилем. Грузоподъемность вагонетки — 3,5 м<sup>3</sup> древесины и больше. Одна лошадь при хорошем состоянии пути летом свободно везет одну вагонетку, зимой на ползках в морозы — две вагонетки. Скорость перевозок 4—6 км/час в грузовом направлении и 10,0 км/час — в порожнем. На магистральных линиях через каждые 6—8 км следует устраивать оборотные конюшни. Подвижной состав требуется иметь в тройном количестве против установленной цифры перевозки за день. При конечных пунктах выгрузки и на конных станциях необходимо достаточное развитие запасных путей под порожняк. В зимнее время лежневые

дороги могут быть использованы как ледяные путем оледенения колеи между лежнями.

Конная тропа между лежнями делается шириной 60 см. Оледенение лежневой дороги выгодно при усилении вывозки, так как плотность движения может быть увеличена при одном и том же конском составе в 2,5—3 раза.

В отдельных случаях лесовозный транспорт может быть осуществлен исключительно в зимнее время — при помощи ледяных дорог. Фиг. 16



Фиг. 16. Типы оледенения колеи ледяных дорог: 1 — сплошное оледенение, 2 — для саней и 3 — для трактора и саней

показывает типы оледенения колеи дорог: 1) сплошное, 2) для саней и 3) для трактора и саней. Устройство ледяной дороги сводится к подготовке полотна (с теми же предельным подъемом и закруглениями, как и для лежневых дорог) путем уплотнения снегового покрова катками, вырезки колеи под полов грузовых саней и оледенения колеи многократной поливкой.

В результате такой операции образуется как бы ледяной желобчатый рельсовый путь, по



Фиг. 17. Водяной лоток с уклоном 0,002—0,003 для ледяной транспортировки бревен

которому скользят ползья грузовых саней, соответствующих ширине колеи и предельной нагрузке.

Тяга может быть конной или механической, например при помощи тракторов, лучше, на гусеничном ходу. На коротких расстояниях (до 6 км) следует применять конную тягу, которая в этих случаях дешевле механической.

Как разновидность ледяной дороги при благоприятном рельефе может быть устроен ледяной

желоб, кула непосредственно сбрасываются бревна и транспортируются самотеком (при уклоне свыше 0,012) или конной или тракторной тягой (связанные цепями, гуськом). В летнее время при среднем уклоне 0,002—0,003 очень хорошо работают водяные лотки (фиг. 17) при условии, если имеется резервуар в голове транс-



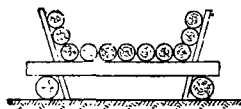
Фиг. 18. Однорельсовая подвесная железная дорога жесткого типа системы Диканского

портирующего сооружения, достаточный для обеспечения на время сплава постоянного расхода воды от 0,75 до 2,0 м<sup>3</sup>/сек. При достаточной плотности движения при коэффициенте полезного заполнения лотка в 0,7 этот вид транспорта является наиболее дешевым.



Фиг. 19. Облегченная воздушно-канатная дорога системы «Лиджервуд»; подтаска через холм

К более сложным видам лесного транспорта следует отнести однорельсовые подвесные железные дороги жесткого типа (например системы Диканского, фиг. 18). Такой транспорт рентабелен только при механической тяге (автовозы). Стоимость таких дорог значительно выше стоимости



Фиг. 20. Спуск бревен под влиянием собственного веса на лесоспусках; схема

В горных лесах на магистральных вывозных путях наиболее целесообразно применение воздушных канатных дорог (типа Блейхерта и др., более облегченных—Лиджервуд) (фиг. 19). Стоимость канатных дорог очень высока. Амортизационный срок каната—от 3 до 5 лет. В тех же горных лесах, где грузооборот сравнитель-

но невелик, удобны лесоспуски. Последние представляют собою плоский, деревянный сухой желоб, устроенный из пластин или подтоварника с плавным уклоном. На лесоспусках бревна движутся под влиянием собственного веса (фиг. 20). В конце пути для уменьшения скорости движения устраиваются тормозные площадки с выведением уклона желоба на горизонтальный участок и подъем, а также путем подвешивания за один конец тормозных брусков над желобом.

### в) С п л а в л е с а

Наиболее дешевым видом лесного транспорта является сплав леса. Сплав леса по естественным водным путям в зависимости от длительности сплава и глубокowodности водяного потока производится «молем» (россышью), «плитками», «гонками», однорядными и многорядными плотами.

В пределах одной водной системы часто применяется смешанный сплав—вначале молею, в конце—однорядными или многорядными плотами. При переходе с одного вида сплава на другой в удобных местах (чаще всего в устьях водных притоков) устраиваются на воде специальные сортировочные устройства—запаны.

При молевым сплаве древесина идет беспорядочной массой, самотеком и работа заключается

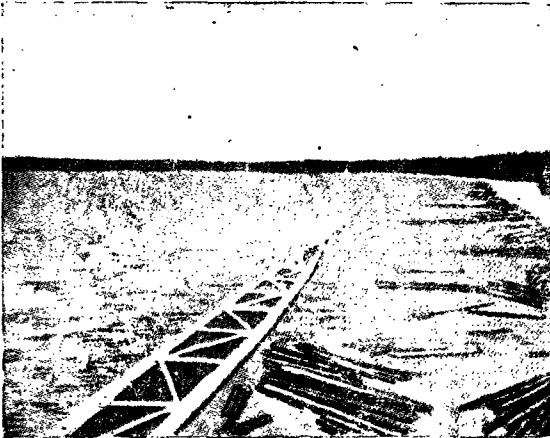


Фиг. 21. Запань для задержки сплаваемой древесины; общий вид

главным образом в срывке древесины в воду при наводке и в контроле над проплывом ее, т. е. в своевременном разборе затворов («закломок») и оттапливании застрявшей древесины от берегов и на отмелях (так называемая зачистка хвоста).

В местах приплыва древесины к конечному пункту сплава устраивается корытная запань, служащая для задержки всей приплывающей древесины на плаву и для постепенного пропускания ее через запаньные ворота в сортировочные дворы для сплотки древесины в плиты, гонки и плоты. Запань (фиг. 21) представляет собой плочуице мости, составленные по ширине из нескольких бревен, число которых зависит от быстроты весеннего потока и количества сплаваемой древесины (от 3 до 12 бревен в ряд). По ширине мостков бревна связываются цепями, тросом или спла-

чиваются деревянными шпонками (постоянная запань); отдельные мостки связываются по длине цепями или тросом. Таким образом получается пловучий звеньевой мостик, который заводится от одного берега до другого и на «мертвяках» (кустовых сваях, забитых в береговой грунт) укрепляется неподвижно тросами с берегов, а на воде удерживается тросами на якорях.



Фиг. 22. Пловучие мостки-бонны, образующие сортировочный двор

На реках с особенно быстрым течением вдоль линии запани набивают кустовые сваи (замки) или устанавливаются ряжевые устои. В этих случаях коренная запань крепится тросами за сваи и за ряжи на плаву. Ворота в запани устраиваются путем затопления одного или двух звеньев запани при помощи дополнительной накатки бревен на соседние звенья запани или расчалкой отдельных звеньев запани на якорях. Глубина затопления ворот находится в зависимости от наибольшего диаметра бревен, проходимых через ворота, и равна обычно 1,5 диаметра наиболее толстого бревна. Поверх затопленных звеньев перекидывается мостик на клетках. Все сооружение для прочности перевязывается тросом. Ниже вдоль по течению, против ворот, отступя на двойную длину бревна, протягиваются так называемые бонны, т. е. более узкие пловучие мостки (3—5 бревен) (фиг. 22). Бонны располагаются на якорях вначале веерообразно, а затем параллельно, образуя таким образом сортировочные двory. Площадь водной поверхности дворов зависит от ожидаемого среднесуточного прохода бревен, считая в среднем на одно бревно от 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> до 3 м<sup>2</sup> водной поверхности.

Бревна сплавляются в конце сортировочного двора в «кошелях» или прогоняются дворами к береговой причальной линии и сплавиваются там. Сплотка производится вручную или механизированным путем. Ручная сплотка производится при помощи жердей («поворин») и «виц» (распаренных и скрученных в жгут стволков молодой елки). Поворин накладывается перпендикулярно оси сплавиваемых бревен поверху, ближе к торцам. Из виц делаются кольца (серьги), которые заводятся кругом двух соседних бревен, продеваются и накладываются петлей на поворину, где и ватываются («пришиваются») к поворине клином, забиваемым между поворинной

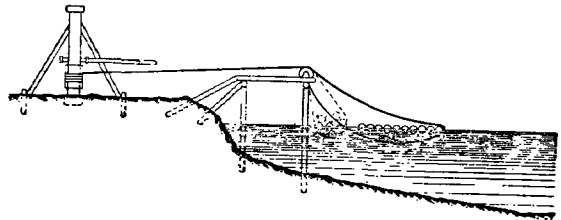
и стягиваемыми бревнами. Полученный таким образом однородный плот чаще всего называется плиткой.

Плитки по длине соединяются в звенья-плоты при помощи таких же виц и коротких жердей (схваток) олять-таки под клин, так что получается полужесткое шарнирное сценление плиток, позволяющее проводить плоты по извилистому фарватеру.

Плоты по мере уширения русла водного пути соединяются параллельно по ширине плиток, а также и в длину. Получаются таким образом гонки, или «возы». На передней и задней плитке гонки при самосплаве устанавливаются гребные весла, выгесанные из подтоварики. В случае буксировки за парходом плоты сверху обычного крепления обносятся («плагаются») снастью пеньковой или мочальной или тросом кругом и по середине плиток вдоль плота для большей прочности и зачаливаются снастью или тросом на бунсир. Многорядные плоты состояются и вяжутся последовательно ряд за рядом накатываемых бревен на однородные плитки («поддон»), которые по окончании сборки и вязки соединяются в плоты, так же как и однородные плоты, разница только в толщине виц, схваток и снастей. Этот способ сплотки требует громадного количества прислужного леса.

Ручной способ вязки плотов отличается медленностью и малой производительностью, поэтому на смену ручной сплотке постепенно внедряется механизированная, пучковая сплотка.

Пучковая сплотка заключается в том, что многорядные плоты вяжутся не из отдельных бревен, а из пучков, перевязанных проволокой при помощи специальных сплоточных станков. Существует несколько систем сплоточных станков. Наиболее прост, но отличается высокой производительностью станок системы Лебедева (фиг.



Фиг. 23. Сплоточный станок системы Лебедева для пучковой сплотки

23). Этим станком вязка пучков производится следующим образом. Бревна из сортировочного двора направляются в приемник сплоточного станка параллельно ряду прижимных свай. По заполнению приемника определенным количеством бревен (в зависимости от диаметров, кубатуры и максимально допустимой осадки пучка) бревна набираются в двойную петлю троса, у которой один конец закрепляется «в мертвую» на прижимных сваях, а другой срачивается с тяговым тросом, идущим к вороту с конным приводом или механической приводной лебедкой. При пуске тягового троса бревна гонятся петлей к прижимным сваям и собираются в пучок до отказа. По остановке ворота или лебедки образовавшийся пучок обвязывается проволокой в двух или трех местах в зависимости от длины бревна (до 6,5 м — две вязки).

По окончании перевязки тросу дают обратный ход и пучок бревен проплавляется в бассейн для сплотки в плитки. Ошлаговка плиток при сборке в плот производится снастью.

В озерных бассейнах древесина проводится или «кошелями» или моторным ботом — «варповальной» лодкой. Кошель представляет собой пловучий подвижной бон в виде открытой петли, куда набиваются бревна на плаву, после чего концы кошеля зачаливаются тросом на буксире пароходом. Таким образом бревна проводятся через водные бассейны.

Организация сплава зависит от его продолжительности и скорости, а также протяженности, характера берегов и фарватера и принятого способа сплава. Особенной четкости требует молодой сплав ввиду ограниченности срока сплава (иногда несколько дней).

Нормальная постановка сплава требует телефонно-диспетчерской связи во избежание заторов (сплошное перекрытие русла реки сплавляемой древесиной, еще не потерявшей способности двигаться по течению, но сильно затрудняющей управление сплавом) и заломов (заторы, потерявшие способность двигаться, сопровождаемые нагромождением бревен и нередко забивкой ими водного русла до дна). Заторы и особенно заломы грозят не только срывом календарных сроков, но и полной приостановкой и невыполнением сплава. Прием строевого леса ввиду его громоздкости и больших объемов при массовой обработке древесины выгоднее производить со сплава в целях дешевизны транспорта, удобства приемки, сортировки и выгрузки и для сохранения качества древесины, которая, находясь в воде в переувлажненном состоянии, не подвергается гниению, червоточине и растрескиванию.

### 3) Выгрузка, сортировка и хранение древесины

#### а) Выгрузка

Со сплава древесина может поступить модем или в плотах к лесопильному заводу. В обоих случаях для приема древесины устраиваются речная и береговая запани с сортировочными дворами и выгрузочным оборудованием. Речная запана обычно устраивается на несудоходных водных путях, где древесину можно сплавлять модем. Устройство запани сортировочными дворами аналогично вышеописанной приемной запани для сплотки древесины. Разница в том, что сортировочный двор заканчивается сплавным каналом (фиг. 24) в виде рукава, ограниченного бонами и направляющего всю древесину из сортировочных дворов в рассортированном виде к приемной выгрузочной площадке. Береговая запана, как показывает название, вытягивается вдоль берега выше по течению приемной площадки главным образом на судоходных реках, где вапрещен сплав модем, и древесина поступает к заводу в плотах или гонках. В этом случае весь прибывающий лес зачаливается к береговой линии причала плотов выше по течению от береговой запани, Гонки и плоты по мере необходимости расширяются на плитки и последние самоплавом или буксиром доставляются к горлу береговой запани (фиг. 25).

У горла вдоль по течению на случай аварии с плотами должен стоять наготове так называемый призапанок или пловучий бон и варпов-

вальная моторная лодка, снабженная аварийным реквизитом: якорями, снастями или тросом, баграми или спасательными принадлежностями. Назначение призапанка — задерживать при аварии с плотами «разбойный лес», т. е. распущенный в моль.

Установку призапанка на фарватер реки и обратно производит варповальная лодка, она же перехватывает на плаву аварийные плитки



Фиг. 24. Сплавной канал сортировочного двора

и плоты и прибуксировывает их к берегу. Плитка, доставленная к горлу береговой запани, расширяется в моль, и отдельные бревна проходят окончательно сортировку на воде для выгрузки на берег («на гору») или для непосредственной подачи в бассейн лесопильного завода на распиловку.



Фиг. 25. Доставка плиток самоплавом или буксиром к горлу береговой запани

#### б) Сортировка

Сортировка бревен на воде перед подачей в распиловку или перед выгрузкой на берег для выкладки в штабеля временного хранения (для вивней работы лесопильного завода) является обязательным условием правильно поставленного биржевого хозяйства.

В лесозавод древесина должна подаваться в полном соответствии с технологическими требованиями, предъявляемыми к сырью бревнам при распиловке их на лесопильных рамах. Лесопильная рама всегда пилит бревно по установленному в пильной рамке «составу», т. е. набору пил. Каждый пил при расчете на максимальный выход пиломатериала

лов требует вполне определенных диаметров бревен; нормально предельное колебание диаметра бревен на постав — 2 см. Постав нормально следует менять только по истечении 3—4 час. работы рамы, т. е. когда наступает затупление пил. Поэтому количество сортировочных каналов у береговой запяли должно соответствовать числу ступеней толщины бревен, сплавляемых нормально в одну плитку (3—4 двора), плюс «запасной» двор, куда направляется вся древесина, не укладываемая по толщине к подаче в тот или иной сортировочный двор. При подсчете потребной водной поверхности сортировочных каналов и всего сортировочного двора необходимо знать производительность лесопильного завода и производительность выгрузочных устройств. Нормально для свободы маневрирования с бревнами на воде при подаче под выгрузочные механизмы (бревнотаски) на одно бревно требуется 3—4 м<sup>2</sup> водной поверхности. Общая площадь сортировочных устройств должна равняться полуторасменной работе завода плюс полуторасменная производительность береговых бревнотасок, подающих древесину на берег в штабеля. Ширина сортировочных дворов не должна быть уже полуторной длины приплавляемых бревен на случай необходимости поворота бревна на 180° по оси для подачи под механизмы в нужном направлении.

Если позволяют местные условия, лучшим методом хранения бревен для вышней распиловки на лесозаводе является хранение под водой в штабелях. Основание штабеля в этом случае делается из однорядной плитки, на которую



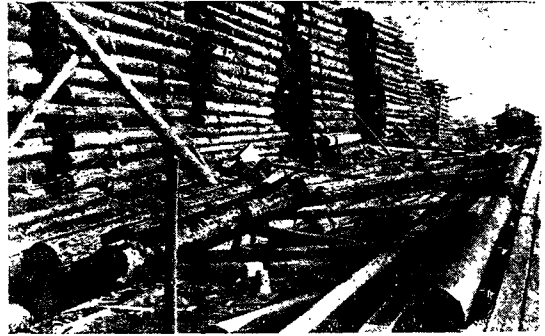
Фиг. 26. Цепная бревнотаска

последовательно накладываются бревна ряд за рядом вручную или при помощи пловучих лесокатов.

Хранение бревен под водой имеет следующие преимущества:

- 1) предохраняет древесину от усыхания и растрескивания;
- 2) не дает «синева», т. е. поражения древесины грибами;
- 3) не дает бревнам зимой промерзнуть;
- 4) облегчает сортировку бревен по размерам при укладке в штабеля.

При выкатке бревен на берег их укладывают в штабеля на специально отведенном месте —



Фиг. 27. Бревенная биржа; слева — штабеля бревен, справа — продольная береговая бревнотаска

бревенной бирже. В штабеля бревна подаются также рассортированными по породам и размерам при помощи механических бревнотасок.

Существуют три типа бревнотасок:

- 1) Пловучие бревнотаски, где бревна поднимаются тросами при помощи лебедки.
- 2) Цепные бревнотаски, или поперечные элеваторы (фиг. 26).

Эти два типа бревнотасок применяются в случае низких берегов и мало изменяющегося уровня воды в сплавно-водном бассейне.

- 3) Продольные цепные элеваторы или береговые бревнотаски. При крутых и удаленных от воды береговых горизонтах, при сильно меняющихся уровнях горизонта воды применяется исключительно этот тип.

Для успешности и правильности распиловки необходимо иметь бревна, чистые от ила, песка и грязи, для чего перед выкаткой их необходимо обмывать сильной струей из напорного водопровода (давление до 4 атм). Впрочем обмывка чаще делается перед подачей бревен в лесопильный амбар.

Высота штабелей бревен в разных случаях различна: при укладке вручную с «гужа» бревна укладываются в три-пять рядов на подкладках; при укладке при помощи бревенных элеваторов штабеля могут быть высотой до 11 м (фиг. 27). При больших высотах нижние ряды бревен на прокладках деформируются и дают при распиловке брак («отдушины»).

#### в) Правила укладки и хранения бревен в штабелях

1. Лучшим способом является хранение бревен под водой.
2. Вода водного бассейна предпочтительна слабо проточная или чистая стоячая, незацевающая.
3. Дно водного бассейна должно быть ровное, каменисто-песчаное, но не илное, не залива-



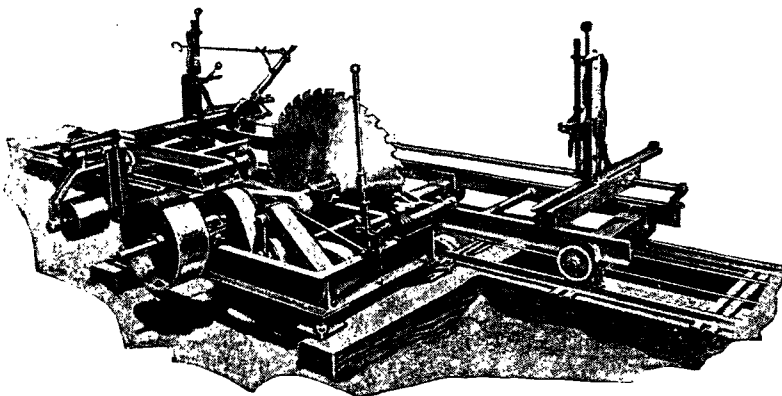
мое течением и свободное от повреждения ледоходом и паводками, не глубже 10 м.

4. Бревна штабеляются или в клетку последовательным накатом или параллельными рядами между кустами свай.

**Примечание.** Накат бревен при штабелировке доводится до поверхности воды с накатом поверх водной поверхности одного дополнительного ряда бревен.

5. При укладке бревен на сухопутной бирже разбивка фундаментов должна предусматривать длину оси штабеля не свыше 100 м, расстояние между штабелями не менее 2 м и наличие пожарных проездов через каждые 150 м фронта (передней линии) биржи.

6. Основание фундаментов должно быть построено на стеллажах высотой не менее 35 см от поверхности земли до нижней поверхности бруса, причем взаимное расположение последовательных рядов фундаментных брусков должно иметь воздушные продухи, расположенные между внутренними и внешними рядами бревен, не менее 50 см.



Фиг. 28. Станок с циркулярной пилой типа «Тюрнер»

7. Бревна длиной 4 м и менее должны складываться в двойные штабеля с расстоянием между двумя штабелями не менее 2 м (нормально 5 м).

8. Желательно складывать бревна с прокладками толщиной 6—7 см, но в виде исключения они могут складываться и без прокладок. Прокладки должны быть из отесанных жердей (подтоварника), сухих и вполне здоровых и обязательно пропитанных маслянистым антисептиком. При разборке штабелей прокладки должны складываться под навесом и охраняться от загнивания.

9. Высота штабелей зависит от способа выкатки бревен и может доходить до 11,0 м в головной части штабеля при укладке бревен на прокладках с уклоном в хвостовой части в 2%.

10. Все деревянные части фундаментов не менее одного раза в год (весной) необходимо смазывать дезинфицирующим раствором.

11. Вершины бревен при укладке на прокладках должны быть обращены в каждом ряду в одну сторону.

12. При укладке бревен в плотные штабеля прокладки толщиной 10—12 см должны быть на расстоянии не более 0,6 м ряд от ряда.

13. Подозрительные на синеву и гниль бревна должны складываться на бирже отдельно и обя-

зательно с подветренной стороны господствующих ветров во избежание заражения остальных здоровых штабелей. Распиловку подозрительных на синеву бревен следует производить при температуре наружного воздуха не выше 4° Ц.

Бревна подаются в лесопильный завод через бассейн, в который в зимнее время поступает теплая (конденсационная) вода от силовой станции или отработанный пар.

Бассейн может быть на одном уровне с горизонтом водного пути или выше его. В первом случае бассейн в зимнее время изолируется от реки шлюзом, во втором случае бревна подаются летом продольной бревнотаской, а зимой чаще всего при помощи «волокуши». Волокуша — бесконечная цепь, проходящая через деревянные барабаны большого диаметра (1,5 м), стоящие на поворотных пунктах; цепь приводится в движение лебедкой. В бассейн бревна доставляются при помощи «подхваточных цепей», причем бревна волочатся непосредственно по уплотненному снежному или ледяному желобу.

#### 4) Первичная обработка древесины

##### а) Общие сведения

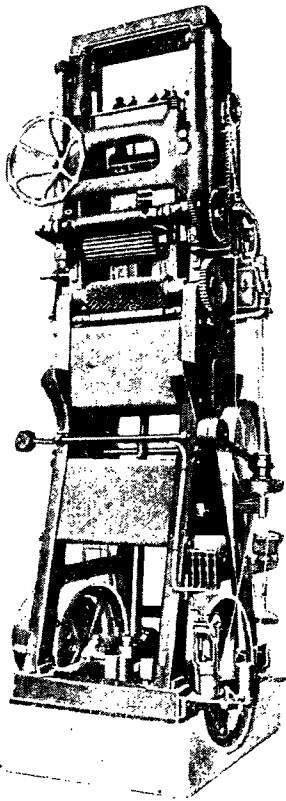
Из бассейна бревна подаются на распиловку в лесопильный амбар лесозавода. Лесопильный завод как отдельное предприятие состоит из: а) склада (биржи) бревен; б) лесопильного цеха (амбара), где собственно и происходит распиловка бревен на пиломатериалы; в) раскройного цеха для разделки пиловочной мелочи (рейка, брусочки, планка, клепка и т. п.); этот цех территориально часто находится в лесопильном амбаре, но на крупных лесопильных заводах может быть выделен в отдельном здании; г) сортировочной площадки, если лесозавод имеет большие двух лесопильных рам; д) сушильного хозяйства, если пиломатериалы выпускают с лесопильного транспорта или производственной сушилки; е) склада (навеса) для пиломатериалов и биржи пиломатериалов или открытого склада.

В случае использования отбросов при лесопильном заводе организуются так называемые утилизационные цеха. Назначение и характер последних могут сильно отличаться друг от друга и в отдельных случаях вырастать до размеров предприятия (гидролинийный завод, завод пластмасс и т. п.).

## б) Основное оборудование лесопильного завода

Бревна могут быть распиливаемы на циркульных, рамных или ленточных пилах. Выбор того или иного основного оборудования зависит от цели и назначения распиловки бревен для нужд строительства.

1. Если строительство нуждается главным образом в брусках, а не в досках, лесопильный завод может быть оборудован только станками с циркульными пилами типа Тюрнер, модель люменского машиностроительного завода «Механик» (фиг. 28), так как производительность



Фиг. 29. Лесопильная рама

этих станков выше рамных и ленточных пильных станков и станки эти вполне пригодны для целей обрусовки бревен.

Лесопильный цех в таких случаях очень упрощается и сводится к простому навесу-шатру, где и размещаются станки завода «Механик» отдельными потоками. Получаемый при обрусовке отход в виде лафета и горбов может быть пропущен через вспомогательные станки: ребровый, реечный и поперечно-пильные, для получения «мелочи»: опалубочного теса («суцкот»), планки, рейки и штукатурной дранки (пиленой). При такой организации лесопильного завода часто вынакает сушильное хозяйство и строительный материал сушится на бирке естественной, воздушной сушкой.

2. Если лесопильный завод предназначен для распиловки разнообразных строительных материалов, чаще всего у нас в Союзе основным

станком в лесопильном амбаре является лесопильная рама (фиг. 29). Лесопильные рамы устанавливаются в один ряд или в два ряда в шахматном порядке, причем бревна при проходе через раму распиливаются либо сразу (в развал) либо за два прохода через раму. При распиловке в развал бревна распиливаются пакетом пил, собранных в постав и натянутых жестко при помощи клинцев или особой конструкции затяжек в пильной рамке, имеющей возвратно-поступательное движение. Первый проход бревна через раму называется брусковой и дает в результате распила так называемый голландский брус и необрезной пиломатериал как отход от бруса в виде необрезных досок или горбылей. Второй проход обычно дается на другой раме, установленной во втором ряду. Такая рама носит название разваливающей рамы. На эту раму подается только голландский брус, из которого в результате распиловки получают острокантный брус, или валкантный брус с обволом по граням бруса, или пакет обрешных досок, т. е. досок, имеющих одинаковую ширину, равную толщине голландского бруса. В том и другом случае получают как отход подгорбыльные, необрезные доски и горбыли.

Брус (четырекантный) и обрешные доски сразу после получения транспортируются из лесопильного амбара при помощи вагонетки или специальных транспортеров (роликовые, пассивные). Бревно в раму из бассейна подается при помощи продольных цепных бревнотасок (фиг. 26), причем одна автобревнотаска, снабженная автоматическим останком бревен в конце у тележек лесопильной рамы, обычно обслуживает только одну раму. Если завод работает с гужа, то бревна в раму подаются с сортировочной площадки.

После остановки бревна у тележек лесопильной рамы оно снимается на тележки или вручную или при помощи механического сбрасывателя.

Тележки лесопильной рамы делятся на:

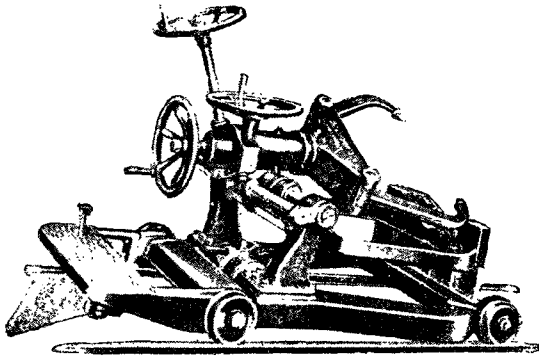
- 1) зажимные, или направляющие (фиг. 30,а);
- 2) поддерживающие (фиг. 30,б);
- 3) подвесные-зажимные (фиг. 30,в).

Если лесопильная рама пилит в развал, перед ней устанавливают обязательно две тележки — одну комлевую, зажимную, другую верхинную (поддерживающую). Позади рамы устанавливают: у комля — поддерживающую, а у вершины — зажимную или подвесную тележку. Комлевая тележка спереди рамы и верхинная позади ее саморазмыкаются в тот момент, когда комель и вершина бревна находится на строго и заранее определенном месте; тележки имеют самоход вперед и автоматическую откатку в исходное положение.

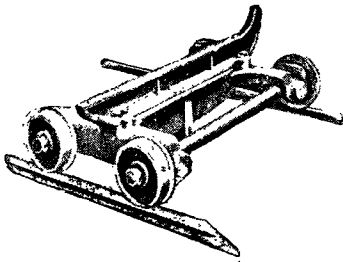
Если лесопильная рама устанавливается в пару к разваливающей раме в шахматном порядке (см. схему двухрамного лесопильного завода на фиг. 31), в этом случае разваливающая рама не всегда имеет тележку и брус тогда проводится через раму на роликовом аппарате, свадки же устанавливается подвесная тележка. Брусующая рама свадки может иметь порталные тележки. Применение порталных тележек позволяет экономить ширину здания лесопильного амбара, так как в этом случае рамы можно устанавливать не в шахматном порядке, а в затылон. Это объясняется тем, что порталная тележка может возвращаться назад к лесопильной раме без

сбрасывания распиленного бревна на сторону, а пропуская его сквозь себя.

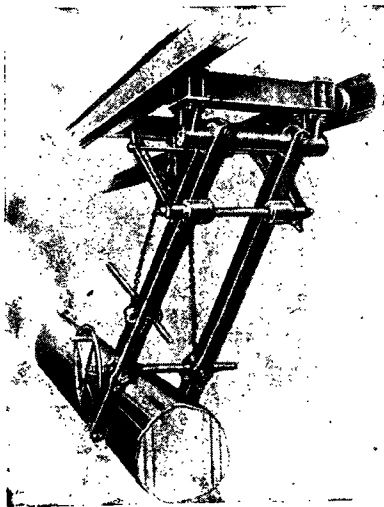
Производительность современных лесорам сильно повысилась за счет большого числа оборотов (295—400 в минуту) и большей мощности (55—



а)



б)

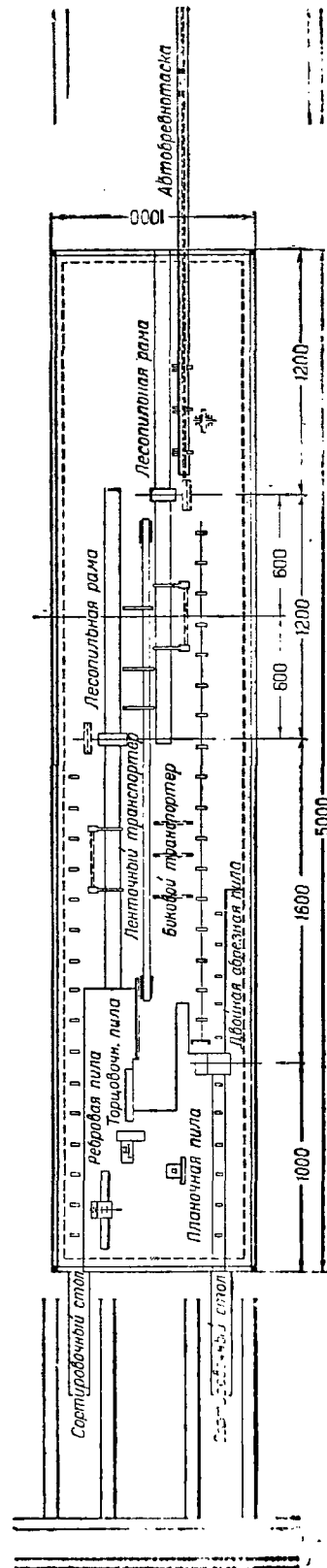


в)

Фиг. 30. Теленки лесопильной рамы: а — зажимные, или направляющие; б — поддерживающие; в — подвесные зажимные

75 л. с.), что позволяет вести распиловку на больших посылках<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Посылкой называется величина (в мм) продвижения бревна через раму за один оборот пильной рамы.



Фиг. 31. Схема двухрамного лесопильного завода

При пропуске бревен через утепленный бассейн посылка может быть постоянной круглый год. При пропуске мороженого бревна посылка уменьшается на 11—30%. Правильность посылки должна быть согласована с уклоном пил в пильной рамке, иначе пилы будут сильно греться и посылки придется снижать. Уклон в рамке на 50 см хода изменяется в пределах от 11 до 20 мм при однотолковой и от 6 до 10 мм при непрерывной подаче соответственно при диаметре верхнего отруба от 35 до 15 см.

Производительность лесопильной рамы за смену (7—8 час.) исчисляется по формуле:

$$\frac{n \cdot o \cdot c \cdot 0,93}{\partial} = P_p,$$

где  $n$  — величина посылки за один ход рамы, изменяющаяся в пределах от 9 до 35 мм соответственно изменению диаметра верхнего отруба бревна от 50 до 15 см;

$o$  — число оборотов рамы в минуту;

$c$  — число минут в смене;

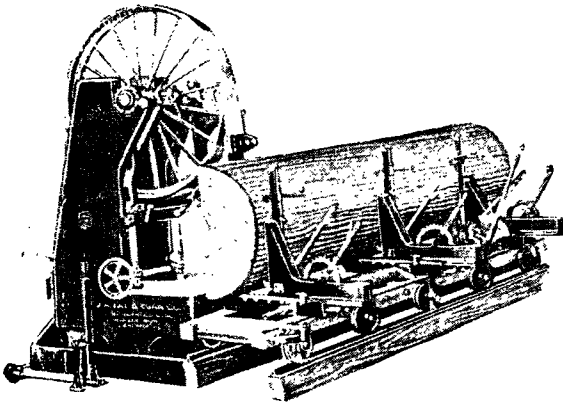
0,93 — коэффициент полезной работы лесопильной рамы;

$\partial$  — длина бревна, выраженная в мм;

$P_p$  — производительность, выраженная числом бревен за смену.

Если средняя длина бревна точно установлена, выражение  $\frac{o \cdot c \cdot 0,93}{\partial}$  для данной рамы может быть постоянно.

При заготовке пиломатериалов для деревянных конструкций желательно иметь такую схему лесопильного завода, где возможно было бы доводить процент брусочки до 100 или пилить все бревно в развал с последующим раскромом досок на бруски, планки и дощечки по принятому сортименту на специальных станках (обрезном, ребровом, реечном и т. п.).



Фиг. 32. Ленточная пила для распиловки бревна

При распиловке бревен для деревянных конструкций можно вместо лесопильной рамы установить ленточную пилу (фиг. 32).

Ленточная пила имеет следующие преимущества:

а) дает возможность производить индивидуальную распиловку каждого бревна с учетом вскрытого брака;

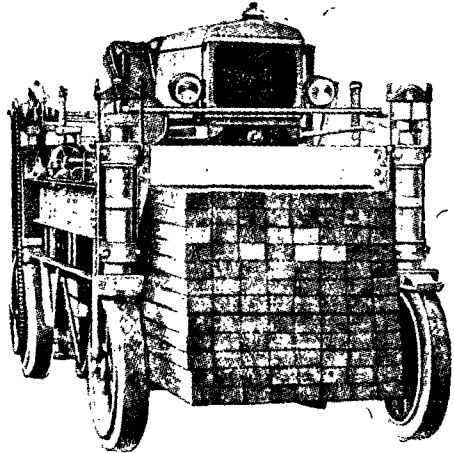
б) позволяет пилить бревно в любом направлении, что важно при необходимости выпиливать

специальные сорта брусков для наиболее ответственных частей конструкций;

в) может производить распил с выделением заболони и сердцевины;

г) производительность ленточной пилы при распиловке на бруску выше, чем лесопильной рамы (1,2—2,0 м/сек).

Для повышения процента выхода при распиловке древесины для нужд строительства, в частности деталей конструкций, необходимо при организации лесопильного производства раз-



Фиг. 33. Автовоз типа «Кенгуру» для перевозки пиломатериалов

работать примерную спецификацию распиловки с выявлением в ней всех строительных деталей в черных заготовках, т. е. с указанием размеров с припусками на усушку и с допусками на обработку. Если в распоряжении такую спецификацию, можно разработать таблицу поставок на «рядовую» доску с последующим ее раскромом на производственные заготовки (пиловочную мелочь) уже после того, как рядовой пиломатериал прошел через сушильное хозяйство. Крупные по размерам производственные заготовки обычно включают непосредственно в таблицу поставок и выпиливают на лесопильном заводе наряду с рядовым пиломатериалом.

При обычных методах распиловки для получения только рядового пиломатериала использование древесины из хлыста дерева, растущего в лесу, по данным Лесного департамента США составляет на заводе для сухого нестроганого строительного пиломатериала едва 30%. В СССР хотя и получается в среднем из хлыста на 5% больше, зато при дальнейшем использовании пиломатериалов на стройках наши потери значительно больше — примерно около 20%. Следует стремиться к тому, чтобы на стройке, как правило, не было обрезков досок и брусков и даже стружек. Этого возможно достичь только при тщательной проработке нормального стандарта на строительный материал<sup>1</sup>.

При организации лесопильного производства особенно важно иметь в виду не только получение пиломатериалов обычной длины 6 м и выше, но и разработку короткомера, который на стройках употребляется в большом количестве.

Данные исследований Мэдиссоновской лаборатории в США показали, что потребители, закупая от 75 до 95% пиломатериала стандартной длины, т. е. более 2,44 м, фактически потребляли

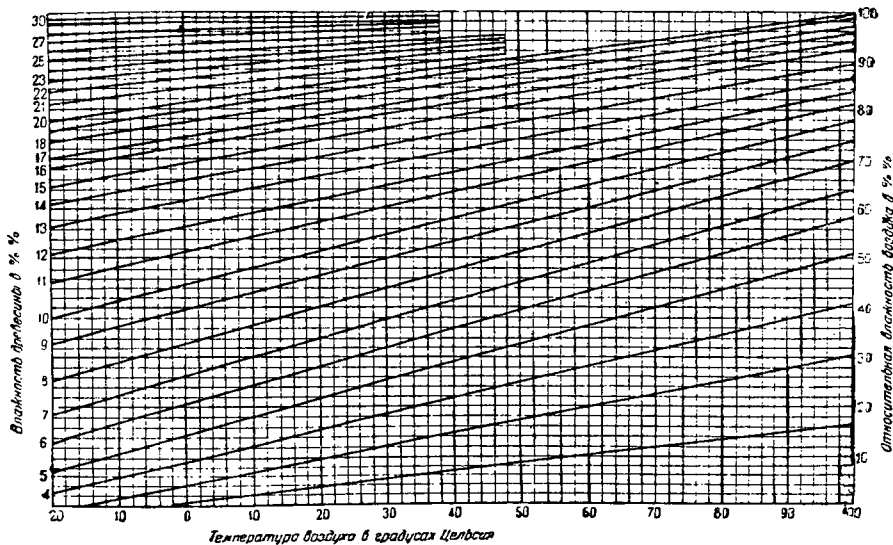
<sup>1</sup> Например стандарт строганых пиломатериалов Иннорса (44 стандарта).

от 70 до 100% пиломатериал короче 2,44 м и 30—70% даже еще короче — 1,22 м. Поэтому наряду с ленточным станком или лесопильной рамой необходимо иметь в лесозаводе ряд специальных станков для разработки мелочи, не исключая пиломатериалов, идущих на ответственные детали деревянных конструкций.

К таким станкам относятся: обрезающий станок, ребровый, многопильный или однопильный реечный станок, концевительные и торцовочные станки. Все перечисленные станки помимо специального назначения имеют и общее — циркульную или дисковую пилу как режущий инструмент. Большинство станков имеет автоматическую вальцовую или дисковую подачу и достигает высокой производительности: обрезающие — до 112 м/мин, ребровые — до 44 м/мин.

упрощает технологическую обработку ее и облегчает точное изготовление по размерам отдельных деталей.

Необходимость применения для деревянных конструкций воздушно-сухой древесины обусловливается также и ее гигроскопичностью, т. е. способностью поглощать или отдавать влагу в зависимости от изменения относительной влажности окружающего воздуха. Ввиду того что поглощение или отдача древесиной влаги влечет за собой разбухание или усушку ее (что может вызвать изменение формы и нарушить целостность конструкции), гигроскопичность древесины необходимо свести к минимуму. Поэтому перед использованием древесина должна быть предварительно высушена до устойчивой влажности, т. е. до такого конечного влагосодержания,



Фиг. 34. Диаграмма зависимости между состоянием воздуха и устойчивой влажностью древесины

Полученный на лесозаводе пиломатериал обязательно должен пройти предварительную сортировку с вырезкой брака по породам и размерам (толщине и длине, ширина имеет меньшее значение).

На многоэтажных заводах для этой цели строят в непосредственном примыкании сортировочную площадку, откуда пиломатериал грузится на вагонетки или на специальные автовозы (тип «Кенгуру») (фиг. 33) и отправляется на биржу пиломатериалов для воздушной сушки на открытом воздухе или в сушильные камеры для камерной сушки.

#### 4. Сушка древесины

##### 1) Общие положения

Одним из основных требований, предъявляемых к древесине как к строительному материалу, является ее воздушно-сухое состояние, гарантирующее ее от дальнейшего резкого высыхания, а следовательно от усушки, коробления и растрескивания и уменьшающее опасность загнивания. Одновременно с этим применение сухой древесины уменьшает собственный вес конструкции,

до какой она могла бы дойти, высыхая в условиях окружающего воздуха. Так как относительная влажность воздуха не является постоянной, то лучше высушивать древесину до минимальной влажности, которой она может достигнуть в условиях своего применения, а не до максимальной ввиду того что последующее возможное разбухание менее отрицательно сказывается на изделиях, чем усушка. Согласно ТУ и П древесина, идущая на деревянные конструкции, должна быть высушена по возможности до воздушно-сухого состояния. Соответствующий конечный процент влажности высушиваемой древесины зависит от состояния окружающей среды (температуры и относительной влажности воздуха); ввиду того что влажность, окружающей среды может быть различна (внутри помещения, снаружи, в разное время года и пр.), то и древесина может считаться «ухло» при влажности от 5 до 22% в зависимости от ее назначения и места работы в изделии. Диаграмма (фиг. 34) дает зависимость между состоянием воздуха и устойчивой влажностью древесины.

Пример. Температура окружающего воздуха равна 10° Ц, относительная влажность его — 60%. По диаграмме в точке пересечения прямых,

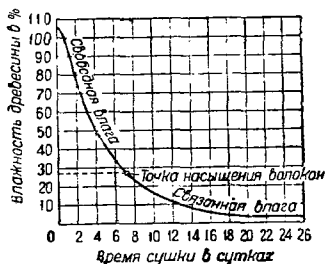
соответствующих заданным температуре и относительной влажности воздуха находим устойчивую влажность древесины, равную примерно 12%.

Если при той же относительной влажности (60%) температуру изменить хотя бы на 20°, то на диаграмме устойчивая влажность изменится только на 1%. Если же при той же температуре (10° Ц) изменить на 20% относительную влажность воздуха, то устойчивая влажность древесины изменится на 4—6%. Отсюда становится ясным, что на влажность древесины в изделии в наших обычных атмосферных условиях влияют главным образом относительная влажность воздуха и меньше — его температура. Это указывает на необходимость устранения причин, вызывающих сырость в сооружениях из дерева.

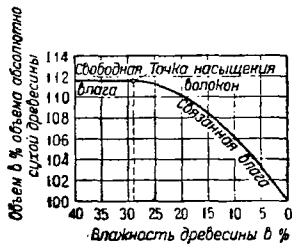
связанной влаги значительно труднее, требует несравненно большего времени и сопровождается явлениями усушки (древесина начинает изменяться в объеме).

Ввиду того что усушка в тангенциальном направлении значительно больше, чем в радиальном, и явление усушки наступает не одновременно по всей толщине сушимой доски, в древесине возникают внутренние напряжения; если эти напряжения достигают значительной величины, в древесине появляются трещины, начинается коробление и прочие пороки, обесценивающие ее и ограничивающие ее применение.

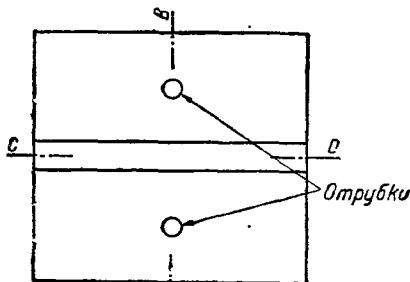
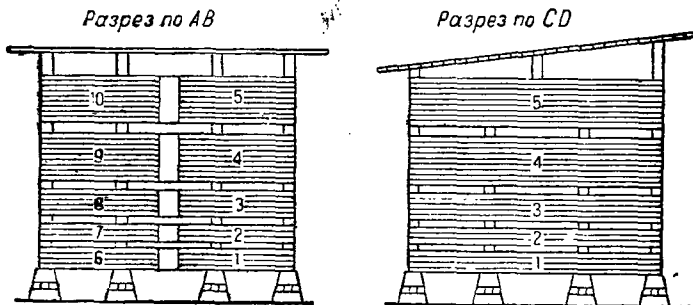
Все это ясно видно на диаграммах фиг. 35 и 36. Диаграмма фиг. 35 показывает, что при удалении из древесины свободной влаги от 105%



Фиг. 35. Диаграмма зависимости темпа испарения влаги до точки насыщения волокон и ниже точки насыщения волокон



Фиг. 36. Диаграмма зависимости уменьшения объема древесины при удалении влаги до точки насыщения волокон и ниже точки насыщения волокон



Фиг. 37. Правильная укладка пиломатериалов в штабель при естественной сушке

Часто высушивание древесины доводят до «транспортной сухости», т. е. до такого состояния, когда перевозка ее становится уже экономически целесообразной.

Транспортная сухость соответствует моменту, когда из древесины удалена вся влага, находящаяся в полостях ее отдельных клеток. Такая влага называется «свободной» (капиллярной) влагой в отличие от «связанной» (мицелярной, гигроскопической), содержащейся в стенках клеток древесины. При сушке вначале удаляется свободная влага из полостей клеток, а затем уже связанная — из стенок клеток. Состояние древесины, когда из нее удалена вся свободная влага, но полностью еще осталась влага связанная, называется точкой насыщения волокон и характеризуется влажностью в 28—31% в зависимости от породы, т. е. от анатомического строения (структуры) древесины.

Удаление свободной влаги весьма просто и не требует много времени; никаких изменений в древесине при этом не происходит. Удаление

до точки насыщения волокна (примерно на 75—78%) потребовалось около восьми единиц (в нашем случае суток) времени, при удалении же влаги ниже точки насыщения волокон до 3% конечного влагосодержания (на 25%) времени потребовалось в несколько раз больше.

Диаграмма (фиг. 36) показывает, что при сушке древесины до точки насыщения волокон от 40 до 28% объем ее не изменится (горизонтальный участок кривой диаграммы). При продолжении сушки ниже точки насыщения волокон кривая изменения объема падает.

Поэтому для облегчения веса древесины при перевозке целесообразно без боязни ее повреждения и без больших денежных затрат высушивать древесину до «транспортной сухости», т. е. в среднем до влажности 28%.

2) Воздушная сушка

Ввиду ответственного назначения древесины, применяемой для деревянных конструкций, необходимо по возможности высушивать ее искусственным камерным способом.

Таблица 9

| Проулки по господствующему ветру в м       |           |            |        |
|--|-----------|------------|--------|
| Проулки                                    | Разрывы   |            | Дороги |
|  | по дороге | по проулку |        |
| 9,1  | 2,2       | 1,5        | 10,7   |
| Проулки в ряне не по господствующему ветру |           |            |        |
| 11,3                                       | 2,2       | 2          | 11,3   |

Проулки и дороги должны быть прямолинейны и одинаковой ширины на всем протяжении биржи.

7. Фундаменты должны иметь размеры  $7,5 \times 8$  м. Все фундаменты должны быть одинаковой высоты, но не ниже 0,60 м и располагаться так, чтобы не задерживалось низовое течение воздуха. Рекомендуется делать их переносными, клеткой на козус, из красотогированных досок или обрезков бревен. Основание не должно быть шире 0,60 м.

Низкие, ряжевые, сделанные из сплошных досок и вообще сплошные фундаменты на бирже не должны применяться.

Все фундаменты должны иметь постоянную нумерацию.

8. Сарай не следует ставить посреди биржи, лучше выносить их на края, но ни в коем случае не строить впереди господствующих ветров.

9. Нижнюю часть сараев (на высоте 0,75 м) следует делать открытой для свободного прохода низового течения воздуха.

10. Если место под биржей неровное, то для сохранения правильного низового продувания фундаменты в нижней части биржи дополняются ребровниками. Это дополнительное наращивание фундамента досками, поставленными на ребро, не задерживает правильной циркуляции воздуха внизу штабелей по всей бирже и может спасти штабель во время половодья весной.

11. Штабеля должны отстоять не ближе 2 м от откосов и сараев.

12. Трава на бирже уничтожается.

#### б) Правила распределения лесоматериалов на бирже.

1. Если биржа имеет значительную площадь, то лучше разделить ее на несколько участков: 1) для тонких досок от 12—38 мм; 2) для толстого лесоматериала свыше 50 мм; 3) для прочей мелочи и 4) для просушки засыпанного леса.

2. Наиболее продуваемая часть биржи отводится для тонких досок (от 12 до 38 мм), которые должны располагаться так: до 25 мм по краям участка, а от 25 мм до 38 мм — в центральной части участка. Для толстых досок отводится менее продуваемый участок. На этом участке доски в 50 мм, как наиболее поранимые синевой, располагаются по краям, а более толстые — в центральной части. Биржа для мелочи должна иметь постоянные навесы-крыши. Для синих досок отводится участок в стороне от остальной биржи и доски кладутся со «шпациями» (пропусками) не менее 25 см.

3. При одной бирже на заводе доски располагаются так: тонкие (от 12 до 38 мм) — по краям, а толстые (от 50 мм и толще) — в центральной части биржи.

#### в) Правила содержания биржи при лесопильном заводе

1. Биржа должна содержаться в чистоте и порядке. На бирже не должны валяться отдельные доски, рейки и т. п. Чистота, опрятность в порядке имеют огромное значение для правильной сушки и сохранения пиломатериалов. Вообще нельзя допускать захламленности биржи. Для этого после переборки и во время погрузки досок вокруг освобожденных фундаментов следует не только очистить место от отбракованных досок, стружки, опилок и т. п. Если увести все это немедленно невозможно, то следует оставшиеся материалы убрать и на освобожденный фундамент.

2. Нельзя допускать складывания на них бытового лесоматериала и пр. в рядах между штабелями или на проулках.

Этот способ позволяет наиболее четко управлять процессом сушки, делает этот процесс независимым от внешних условий и представляет следующие преимущества по сравнению с воздушной сушкой: 1) при правильном проведении процесса сушки можно в кратчайший срок получить материал с наименьшим количеством брака; 2) действие высоких температур понижает гигроскопичность древесины и стерилизует ее, убивая древоточцев, грибы и пр.

Тем не менее камерную сушку можно применять не всегда. Для крупных сортов — бревен, брусков или досок толщиной свыше 10—12 см — камерная сушка уже неэкономична, так как экономически себя не оправдывает. В этом случае приходится крупные сорта сушить естественным способом на бирже, причем необходимо создавать условия, которые сводили бы до минимума сопровождающие воздушную сушку отрицательные явления — сильное растрескивание, заражение грибом, поражение древоточцем, коробление и пр.

Биржи и пиломатериалы в представлении предмет особой заботы на лесопильных заводах. Правильно расположенная и оборудованная биржа способствует более быстрой и правильной сушке пиломатериалов.

Под биржу пиломатериалов необходимо отводить сухой и как можно более доступный ветру открытый участок.

Весьма распространенное мнение о вредном влиянии ветра на качество древесины, подвергаемой естественной сушке, ошибочно. Материал кладется в штабеля (фиг. 37) длинной стороной перпендикулярно к направлению господствующих ветров, причем торцы могут быть защищены. Сильный ветер создает горизонтальные потоки воздуха в штабеле и дает более равномерную сушку. Забор биржи рекомендуется делать не сплошным, а решетчатым и штабеля укладывать возможно далее от забора и стен построек. Если участок мало доступен ветру, то циркуляция воздуха в штабеле замедляется, возникает вертикальный поток воздуха сверху вниз, и влажный воздух задерживается в нижней части штабеля, вызывая синеву, неравномерную замедленную сушку и пр. Основные указания по расстановке биржи и содержанию ее, а также по укладке пиломатериала изложены в нижеприводимых «Правилах».

#### а) Выборки из правил правильной расстановки биржи для пиломатериалов.

1. Площадь под биржу должна быть сухой, ровная без ям, которые должны быть засыпаны землей или щебнем.

2. Стоячая вода должна быть спущена, а при высоком уровне грунтовых вод площадь должна быть дренирована.

Поднятие биржи рейками недопустимо, так как от этого неизбежно происходит захламление биржи гниющей древесиной.

3. Окружающие биржу заборы должны быть низкие, не выше 1,5 м и решетчатые. Сплошные высокие заборы делать не рекомендуется.

4. Площадь биржи разбивается на участки, так называемые проулки и дороги. Проулки должны располагаться по господствующему ветру (обычно их направляют перпендикулярно к реке, что менее практично).

5. Размер проулков, разрывов между штабелями и продольных дорог (табл. 2).

6. Между проулками помещаются 2 штабеля, а между дорогами 4—5 штабелей.

<sup>1</sup> Лебедев В. И., Дефекты древесины, вызываемые клейсами при экспорте пиломатериалов.

3. Подштабельные места должны быть кругом свободны для прохода. Вблизи фундаментов не должно быть ничего, что могло бы задерживать ветер. На правильно сдерживаемой бирже ветер свободно продувает под штабелями во всех направлениях. Если на такой бирже посмотреть под штабель с одного конца биржи, то должен быть виден противоположный ее конец.

4. Не допускать складывания горбылей на бирже без фундаментов.

5. Не ставить бочек с водой близ самого штабеля: от этого синеют крошки досок в штабеле на уровне бочки и выше ее. Бочки надлежит ставить на угол на метр от штабеля.

6. Осенью должны производиться обязательная уборка биржи и ее дезинфекция известью; все деревянные части—фундамент, лежни и все прокладки—должны быть обработаны антисептиком (карбалинеум, креозот и т. п.).

7. Не следует допускать попадания снега в штабеля. Для этого:

а) в штабелях из-под пилы, начиная с 15 октября, сплавивается верхний ряд;

б) выпавший снег со штабелей сметают.

8. С 1 апреля верхний ряд всех штабелей из-под пилы должен быть расплочен, вместо этого можно закрыть штабеля не слишком покатыми крышами из тех же досок.

9. С 1 апреля и до 15 октября нельзя сплавивать верхнего ряда ни на одном штабеле.

10. Оставшиеся на бирже штабеля с высохшими досками следует держать под крышей и следить, чтобы крыша не протекла. Такие штабеля можно сдвигать или класть выдвигую.

11. Первосортные доски после ранней переборки необходимо защищать цитами на жердях, открытыми свиву и приставленными косо под крышу штабеля.

12. С 15 апреля все щиты должны быть сняты.

13. При весенней переборке необходимо следить, чтобы снег не попадал на доски. При укладке досок в штабеля часто наблюдается, что укладчики заносят на ногах шодлиший к сапогам снег на штабель; этого не следует допускать, так как если доска обледенеет, то она не может просохнуть к моменту наиболее интенсивного развития грибов и плесени и потому может поразиться грибами (синевой).

14. При очистке откатов надлежит следить, чтобы мусор не попадал в штабеля.

д) Общие правила укладки досок.

1. Высота штабеля должна быть не менее 4 м; чем штабель выше, тем лучше.

2. Разрывы в штабелях нужно делать на одной высоте и по одной линии на всей бирже.

3. Шапалы должны быть одинаковы по ширине от низа до верха штабеля.

4. Прокладки кладутся против лежней фундаментов и должны представлять прямую, а не ломаную или кривую линию.

5. Штабеля должны быть ровные и не наклоняться в каню-либо сторону.

6. В середине штабеля должна быть труба шириной не менее 0,60 м.

7. Полно выложенный и перебранный штабель должен быть закрыт плотной крышей без щелей с напусками как спереди, так и сзади штабеля.

8. Нижний конец крыши кладется не на штабель, а на доску, помещенную на 75 мм прокладки (стульчики), чтобы обеспечить свободный проход воздуха.

9. Когда штабель закрыт крышей, торцы защищают обшивными досками, чтобы их не рвало солнцем.

10. Материал в сараях кладется на рейках-прокладках, в самом штабеле разрывы не делаются.

Даже правильно устроенная биржа не дает возможности всегда получать хорошо и нормально просушенную доску, так как срок сушки пиломатериала в штабелях далеко не один и тот же и зависит от того месяца, когда доски были положены в штабель.

Для того чтобы высушить до 15% влажности доски толщиной 25 мм в штабелях, уложенных в разное время, нужно количество дней, указанное в табл. 3.

Приведенные данные получены в США, но они почти не отличаются от данных средней полосы РСФСР, для зимних же месяцев северной полосы—затягиваются недели на три; наибольший срок сушки досок в штабелях там примерно равен 8 месяцам.

Такие резкие колебания и неравномерность сушки (42% сушки годовой продукции лесопиль-

ного завода падает на июнь) заставляют современные заводы иметь сушильные камеры и переходить частично на камерную сушку. Для непрерывности отпуска сухого материала с биржи завода вполне достаточно, если сушильное хозяйство рассчитано на производительность 40—50% годовой продукции с учетом сезонности спроса и оборота биржи.

Таблица 3

Количество дней, необходимое для просушки досок<sup>1</sup>

|                                   |     |     |     |      |      |     |      |     |     |     |     |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 150                               | 120 | 100 | 100 | 90   | 75   | 50  | 75   | 225 | 225 | 225 | 200 |
| В каком месяце положены доски     |     |     |     |      |      |     |      |     |     |     |     |
| I                                 | II  | III | IV  | V    | VI   | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII |
| Месяцы, в которые закончена сушка |     |     |     |      |      |     |      |     |     |     |     |
| VI                                | VI  | VI  | VII | VIII | VIII | IX  | X    | IV  | V   | VI  | VI  |

3) Камерная сушка

Для камерной сушки древесины, идущей для изготовления деревянных конструкций, рекомендуются камеры периодического действия, позволяющие точно регулировать условия сушки. В камерах желательна искусственная, возвратная циркуляция воздуха, создаваемая реверсивными вентиляторами. Такие камеры дают наиболее равномерный высушенный материал, срок сушки в них меньше, а вместимость их благодаря отсутствию или незначительности зазоров между досками в одном горизонтальном ряду больше. Камеры эти строятся на один и два штабеля по ширине камеры и на два штабеля по ее длине (фиг. 38, а, б, в).

а) Режимы сушки и их проведение. Контроль

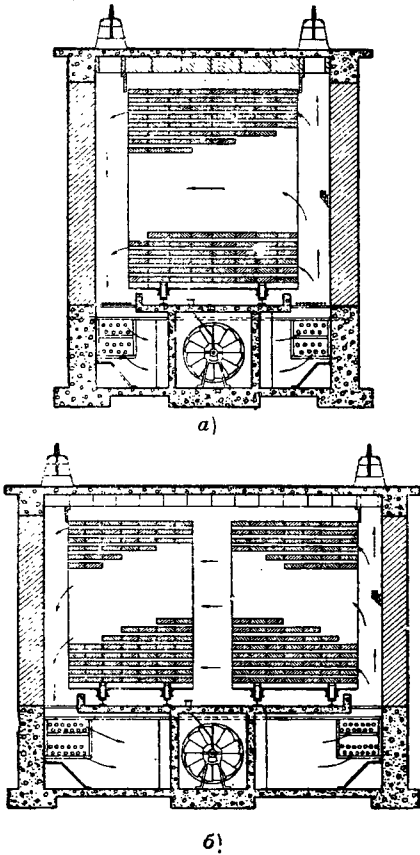
Режим сушки—это комплекс условий, соблюдение которых при проведении процесса сушки гарантирует достаточно быстрое высушивание древесины без брака. Условия эти заключаются в том, чтобы циркуляция, температура и относительная влажность воздуха в камере находились в строгой зависимости от влажности сушимой древесины. Поскольку влажность древесины во время сушки меняется, то соответственно необходимо менять и температуру, относительную влажность и по возможности и скорость циркулирующего воздуха, подвального к сушимуому материалу. Поэтому приборы, определяющие состояние воздуха, должны быть устанавливаемы в месте входа воздуха в штабель. Без приборов, определяющих состояние циркулирующего в камере воздуха, проводить сушку по режиму невозможно.

Для определения температуры и относительной влажности воздуха наиболее удобен действующий психрограф (фиг. 39). По записанным психрографом показаниям сухого термометра (температура циркулирующего в камере воздуха) и термометра влажного можно, вычислив психрометрическую равницу (разница между показаниями сухого и влажного термометров), по приводимой ниже психрометрической таблице определить относительную влажность циркулирующего в камере воздуха.

<sup>1</sup> Данные о ходе сушки сосновых досок (по Фалейву).



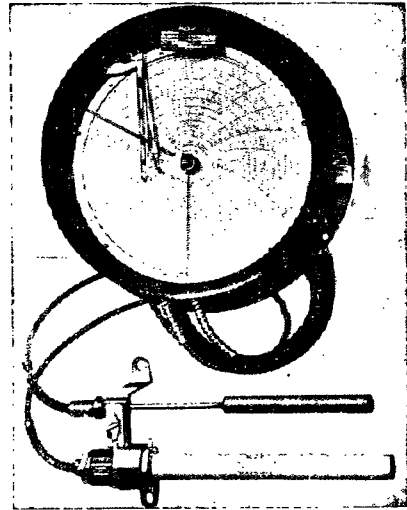
Режим сушки может проводиться: 1) по изменению влажности сушимой древесины в любой момент сушки, 2) по времени, протекшему от начала сушки.



Фиг. 38. Камеры с реверсивными вентиляторами: а — на один штабель по ширине; б — на два штабеля по ширине; в — внутренний вид камеры на один штабель по ширине

Проведение режима по времени практически весьма удобно, но требует знания скорости удаления влаги из древесины; поскольку величина эта изменяется в зависимости от породы и толщины сушеного сорта и учесть ее трудно, приходится проводить режим сушки по изменению влажности древесины.

Изменение влажности можно определить методом взвешивания контрольных образцов. Метод этот заключается в том, что в штабель закладывается образец длиной в 0,6 — 0,8 м, высушенный на расстоянии 0,6 м от торца доски.



Фиг. 39. Дальнействующий психрограф

достаточно характерной для партии сушеного материала. От образца отрезается секция влажности толщиной в 10—12 мм, взвешивается до абсолютно сухого веса, после чего определяется влажность секции и тем самым первоначальная влажность всего контрольного образца по формуле:

$$\frac{n-c}{c} \cdot 100 = Вл. \quad (1)$$

где  $n$  — начальный вес секции влажности;  
 $c$  — сухой ее вес;

$Вл$  — процент влажности.

Контрольный образец с известным уже начальным влагосодержанием слегка обмазывается с торцов каменноугольным песком, высушивается и помещается в штабель, высушивается одновременно с ним. Одновременно высушивается сухой вес образца по формуле:

$$c = \frac{100 \cdot n}{100 + Вл} \quad (2)$$

значения те же, что и в формуле (1)

Во время сушки образец периодически вынимается на весьма короткий промежуток времени и взвешивается, и полученный по формуле (2) раз принимается за начальный и за сухой вес (3), если сухой вес образца высушен по формуле (2), то влажность его после высушивания может быть определена по формуле (1). Влажность всей сушеной партии определяется усредненно по равной влажности контрольного образца. Зная влажность сушеной древесины...



ния) скорость циркуляции может быть понижена. Изменение скорости циркуляции достигается изменением числа оборотов вентилятора и соответствующим маневрированием заслонками.



Фиг. 41. Пользование прибором Хешпенстола

При применении нижеприводимых режимов сушки<sup>1</sup> рекомендуется в начале сушки устанавливать более мягкий медленный режим с большой относительной влажностью воздуха и с невысокой температурой и лишь после положительных результатов пробовать применение более форсированных режимов с меньшей относительной влажностью и более высокой температурой. До сушки древесины по определенному режиму;

<sup>1</sup> По данным Эдиссоновской лаборатории за ряд лет эти данные несколько расходятся с нашими ТУ и Н.

она предварительно прогревается, подвергается действию увлажняемого паром воздуха (предварительная пропарка), при температуре воздуха на 6—10° Ц выше начальной температуры режима и относительной влажности, доводимой до 85—90%. Длительность прогрева — от 1 до 5 час. на каждые 25 мм толщины в зависимости от породы и времени года.

Следует различать сушку: 1) древесины свежесрубленной и 2) древесины, предварительно выдержанной долгое время на складе.

В последней возможно значительное различие во влажности по толщине, связанное с быстрой поверхностной засушкой. Сушить такую древесину по мягкому влажному режиму нельзя, так как поверхностное увлажнение пиломатериалов, сопровождающееся при этом разбуханием поверхностных слоев, ведет к образованию в древесине «постоянных» напряжений (обратный закал) и к увеличению трещин, если таковые имели место до загрузки древесины в камеру.

Древесина, предварительно подсушенная на складе, в случае наличия в ней напряжений должна сушиться при сравнительно невысокой относительной влажности, соответствующей по режиму содержанию влаги в наружных слоях древесины. Этим тормозится развитие напряжений, опасных для целостности древесины. Лишь по окончании процесса сушки для ослабления закала такую древесину следует подвергнуть поверхностному увлажнению по «режиму от закала», указанному ниже. Для разных пород режимы также различны. Для хвойных пород имеется три режима. Тонкие доски можно сушить по режиму 000, а толстые сортаменты — по более мягким длительным режимам — 00 и 0. При применении одного и того же режима для

Таблица 5

Режимы для хвойных пород

| Процент влажности древесины, при которой производится изменение режима |           |           |           | Показания сухого термометра в °Ц | Показания мокрого термометра в °Ц | Относительная влажность воздуха в % |
|--|-----------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| I  | II        | III       | IV        |                                  |                                   |                                     |
| Режим 0  |           |           |           |                                  |                                   |                                     |
| Начальный  | Начальный | Начальный | —         | 57                               | 51                                | 70                                  |
| 30   | 25        | 20        | —         | 66                               | 52                                | 50                                  |
| 20   | 16        | 13        | —         | 74                               | 56                                | 40                                  |
| 15   | 12        | 10        | —         | 79                               | 54                                | 30                                  |
| Режим 00   |           |           |           |                                  |                                   |                                     |
| Начальный  | Начальный | Начальный | Начальный | 71                               | 63                                | 70                                  |
| 40   | 35        | 30        | 25        | 77                               | 62                                | 50                                  |
| 20   | 16        | 13        | 13        | 82                               | 57                                | 30                                  |
| Режим 000  |           |           |           |                                  |                                   |                                     |
| Начальный  | Начальный | Начальный | Начальный | 82                               | 74                                | 70                                  |
| 40   | 35        | 30        | 25        | 88                               | 72                                | 50                                  |
| 20   | 16        | 13        | 13        | 93                               | 66                                | 30                                  |

Таблица 6

Режим для лиственных пород

| № режима         | 1      | 2     | 3   | 4               | 5    | 6   | 7   | 8   |
|------------------|--------|-------|-----|-----------------|------|-----|-----|-----|
| Порода . . . . . | Береза | Ясень | Бук | Железное дерево | Граб | Дуб | Дуб | Дуб |

Таблица 6а

**Режимы для лиственных пород**  
 С — температура сухого термометра в °С;  
 М — температура мокрого термометра;  
 В — относительная влажность воздуха в %.

| % влажности древесины | толщина пиломатериалов | Режим 1 |    |    | Режим 2 |    |    | Режим 3 |    |    | Режим 4 |    |    |
|-----------------------|------------------------|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|
|                       |                        | С       | М  | В  | С       | М  | В  | С       | М  | В  | С       | М  | В  |
| Выше . . .            | 40                     | 60      | 55 | 80 | 57      | 53 | 80 | 54      | 50 | 80 | 52      | 48 | 80 |
|                       | 40                     | 63      | 57 | 75 | 60      | 54 | 75 | 57      | 52 | 75 | 54      | 49 | 75 |
|                       | 30                     | 65      | 58 | 70 | 63      | 56 | 70 | 60      | 53 | 70 | 57      | 51 | 70 |
|                       | 25                     | 68      | 58 | 60 | 65      | 55 | 60 | 63      | 53 | 60 | 60      | 51 | 60 |
|                       | 20                     | 71      | 57 | 50 | 68      | 55 | 50 | 65      | 52 | 50 | 63      | 50 | 50 |
| и до конца .          | 15                     | 74      | 53 | 35 | 71      | 51 | 35 | 68      | 51 | 40 | 65      | 48 | 40 |
|                       | 10                     | 76      | 46 | 20 | 74      | 44 | 20 | 71      | 46 | 25 | 68      | 44 | 25 |
|                       |                        | Режим 5 |    |    | Режим 6 |    |    | Режим 7 |    |    | Режим 8 |    |    |
| Выше . . .            | 40                     | 49      | 45 | 80 | 46      | 43 | 80 | 43      | 40 | 85 | 40      | 38 | 85 |
|                       | 40                     | 51      | 46 | 75 | 49      | 44 | 75 | 46      | 43 | 80 | 43      | 40 | 80 |
|                       | 30                     | 54      | 48 | 70 | 51      | 45 | 70 | 49      | 44 | 75 | 46      | 41 | 75 |
|                       | 25                     | 57      | 49 | 65 | 54      | 46 | 65 | 51      | 44 | 65 | 49      | 43 | 70 |
|                       | 20                     | 60      | 49 | 55 | 57      | 46 | 55 | 54      | 44 | 55 | 51      | 43 | 60 |
| и до конца .          | 15                     | 63      | 48 | 45 | 60      | 46 | 45 | 57      | 44 | 45 | 54      | 43 | 50 |
|                       | 10                     | 65      | 44 | 30 | 63      | 42 | 30 | 60      | 42 | 35 | 57      | 41 | 40 |

хвойных пород процесс сушки можно форсировать или замедлять в зависимости от влажности древесины того или иного раздела режима. Режим, примененный по каждому последующему разделу, является наиболее осторожным и мягким (раздел I — самый жесткий, II — мягче и т. д.).

Каждый последующий режим мягче предыдущего. Все режимы рассчитаны на сушку пиломатериалов толщиной до 40 мм. При увеличении толщины на 25 мм необходимо проводить процесс сушки по следующему более мягкому режиму. Так например, бук толщиной в 60 мм сушится уже по режиму 4, а толщиной в 85 мм — по режиму 5 и т. д.

Для лучшего проведения камерной сушки необходимо руководствоваться следующими ориентировочными сроками сушки:

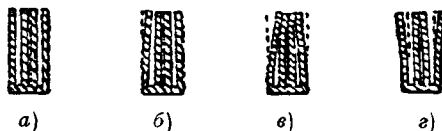
| Для хвойных пород       |                     |
|-------------------------|---------------------|
| Толщина сортамента в мм | Срок сушки в сутках |
| 12                      | 3/4 — 1             |
| 19                      | 1 1/2 — 2           |
| 22—25                   | 2 1/2 — 3           |
| 30—40                   | 4 — 5               |
| 50                      | 5 1/2 — 6 1/2       |
| 60—70                   | 7 — 9               |
| 80—90                   | 10 — 14             |

| Для лиственных пород (при толщине сортамента 25 мм) |            |
|---|------------|
| Порода  | Срок сушки |
| Береза . . . . .                                    | 8—12       |
| Ясень . . . . .                                     | 10—14      |
| Бук . . . . .                                       | 12—18      |
| Грб . . . . .                                       | 12—18      |
| Дуб . . . . .                                       | 16—22      |

Сроки эти для сушки от 60 до 12% влажности в зависимости от целого ряда факторов (конструкция камер, обслуживание, оборудование, начальная и требуемая конечная влажность древесины, ее качество и назначение и пр.) могут иметь небольшие отклонения в ту или

иную сторону, но во всяком случае они являются исходными.

Неравномерность сушки и отклонение от режима влекут за собой брак древесины, в первую очередь закал. Закалом называется явление, когда внутренние слои древесины (середина сортамента) имеют стремление сжаться больше, чем наружные слои (поверхность); при этом во внутренних слоях возникают растягивающие напряжения, а в наружных — сжимающие. Для



Фиг. 42. Выпиленные сечения для определения степени закала: а — нет закала; б — допустимый закал; в — недопустимый закал; г — обратный закал от чрезмерной периодической пропарки при 100% относительной влажности воздуха

определения закала из контрольного образца, помещаемого в штабель, вырезают «силовую сечению» в форме буквы П (фиг. 42). Схождение концов сечения немедленно после вырезки служит признаком закала, а расхождение — признаком обратного закала, получающегося в результате чрезмерного увлажнения воздуха.

б) Дефекты древесины от сушки, их предупреждение и устранение<sup>1</sup>

При сушке лесоматериала не всегда удается избежать некоторых дефектов, главнейшими из которых являются: закал, трещины, коробление, развитие синевы, плесень и изменение естественной окраски (потемнение) дерева. Ввиду того что перечисленные дефекты типичны и являются результатом или неправильного вы-

<sup>1</sup> П. Гелдерсопу: Hardezon H. L., The air seasoning and kiln drying of Wood, 1936.

бора режима сушки или несоблюдения его, необходимо остановиться подробнее на непосредственных причинах их возникновения и необходимых мероприятиях для их избежания и исправления.

1. Закал (фиг. 42)

(Наружные и внутренние растягивающие и сжимающие напряжения)

Причины появления: 1) чрезмерно быстрое высыхание поверхности, вызванное: а) слишком высокой температурой, б) слишком низкой влажностью или и тем и другим вместе;

2) неравномерная сушка, происходящая вследствие: а) слишком медленной или неравномерной циркуляции, б) слишком больших и резких колебаний температуры и влажности.

Способы предотвращения: во избежание закала следует: 1) применять более высокую влажность и более низкие температуры; 2) ускорять циркуляцию и делать ее равномерной; 3) добиваться более равномерного регулирования температуры и влажности; 4) удалять периодическое пропаривание; 5) делать частые испытания на закал и распределение влаги.

Способы исправления: 1) поддерживать относительную влажность в 70—85% в течение продолжительного периода (от 6 до 18 час. в зависимости от породы и толщины пиломатериалов); 2) во время пропарки древесины поддерживать быструю циркуляцию.

2. Поверхностные трещины (фиг. 43)

Причины появления: 1) чрезмерная быстрота высыхания поверхности по сравнению с серединой в первоначальный период сушки; 2) неравномерная сушка, происходящая вследствие: а) недостаточной и неравномерной циркуляции; б) укладки, при которой концы досок выдаются из штабеля; в) вообще неправильной укладки; 3) капанья воды с потолка; 4) трещина, появившихся во время воздушной сушки.

Способы предотвращения: 1) обеспечение лучшей циркуляции; 2) применение высокой влажности в начале процесса сушки; 3) частое периодическое пропаривание; 4) лучшая укладка; 5) надежная изоляция потолка или проведение отопительных змеевиков под потолком; 6) применение узких прокладок.



Фиг. 43. Поверхностные трещины дубовой доски

Этот дефект не может быть исправлен, но дальнейшее появление трещин может быть предупреждено тем же самым способом, который применяется для устранения закала.

Иногда трещины закрываются, если проводится осторожная и равномерная сушка во все время процесса, т. е. до момента низкого содержания влаги в древесине.

3. Неравномерная сушка

Причины появления: 1) резкое различие температуры и влажности в разных местах камеры; 2) слишком сильное колебание температуры и влажности; недостаточность регулирования; 3) недостаточная или неравномерная циркуляция (короткие течения); 4) неправильная укладка пиломатериалов: а) слишком плотно, б) концы свешиваются; 5) утечки через двери (неплотное закрытие); 6) канавы с потолка; 7) утечка пара через трубы.

Способы предотвращения: 1) исправление обогревающей системы (калориферы): а) ремонтом для прекращения утечки пара, б) воздушным продуванием труб, в) и выше: тем давлением пара, г) переустройством обогревающей системы, д) введением автоматического регулирования; 2) урегулирование циркуляции путем: а) урегулирования отдушин в штабелях, б) подачи со-

ответственного количества свежего воздуха, в) изменение направления циркуляции, ремонта дверей, г) остекления большого пространства для воздуха в штабелях, д) установки осевых вентиляторов для направления паровых струй.

Способы исправления: 1) частое периодическое пропаривание; 2) пропаривание или установление высокой влажности в конце процесса; 3) оставление пиломатериалов на более продолжительное время в сухих складах.

4. Коробление, скручивание (фиг. 44) Причины появления:



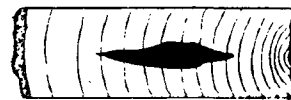
Фиг. 44. Искривление досок (коробление) в результате неправильного размещения прокладок в штабеле

1) неправильная укладка на тележки: а) неровные прокладки, слишком малое количество их, неправильное их размещение; б) свешивающиеся со штабеля концы; 2) неправильная циркуляция: а) слишком плотно сложенные пиломатериалы, б) застаивающаяся вентиляция, двери с утечкой, в) плохо спроектированная камера; 3) слишком сильный закал.

Способы предотвращения: 1) тщательная укладка досок и прокладок одинакового размера: а) достаточное количество прокладок и их правильное распределение, б) установка концов прокладок на одной линии с концами досок, никаких свешивающихся концов, в) увеличение пространства для воздуха между досками, проход (труба) в центре штабеля; 2) усовершенствование циркуляции: а) тщательная укладка, б) очистка всех каналов, более высокая укладка, в) изменение направления воздушных течений в камере, г) ускорение циркуляции с помощью парожетционных установок (дутьем паровых струй), воздухоподъемных вентиляторного типа, водяными брызгами, конденсационными змеевиками; 3) предотвращение закала; 4) помещение тяжелых грузов на верхнюю часть штабеля.

Способы исправления: 1) устранить закал; 2) удалить пиломатериалы из сушки и вновь переложить их правильно; опять поместить в сушилку и пропаривать при высокой влажности в течение 6—24 час. Продолжать процесс сушки, применяя менее суровый режим сушки.

5. Внутренние трещины (фиг. 45)



Фиг. 45. Внутренние сквозные трещины (сплошной раз). Разрез 1,5 м дубовой доски. Правильной целости доски трещины обнаружены после окончательной конда доски

Причины появления: 1) вывал с последующим появлением поверхностных трещин вследствие: а) слишком быстрого режима сушки, б) сушки с недостаточным периодическим пропариванием после появления поверхностных трещин, в) сушки без понижения влажности после появления поверхностных трещин.

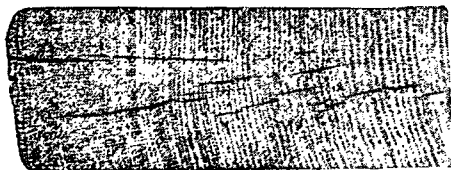
Способы предотвращения: 1) предотвратить появление поверхностных трещин и закала путем более умеренного режима сушки; 2) применять частое периодическое пропаривание; 3) урегулировать циркуляцию свежого штабеля.

Способов для устранения уже появившихся внутренних трещин не существует.

В легких случаях можно остановить развитие внутренних трещин частым пропариванием и применением более низких температур при более высокой влажности.

#### 6. Торцевые трещины (фиг. 46)

Причины появления: 1) слишком быстрое высыхание у торцов и слишком медленное — у середины; 2) неодинаковые прокладки, неправильно размещенные; 3) свешивающиеся с торцов штабеля концы; 4) слишком большая циркуляция у торцов и недостаточная внутри штабеля; 5) утечка через двери вследствие неплотности закрывания; 6) трещины, имевшиеся налицо до сушки.



Фиг. 46. Торцевые трещины на дубовом бруссе

Способы предотвращения: 1) исправить укладку: а) поместить прокладки в одну линию с концами досок в одном конце штабеля и как можно ближе у другого конца, б) оставить достаточно пространства для прохода воздуха в штабелях; 2) обеспечить направление движения воздуха так, чтобы заставить проходить его через штабеля; 3) закрасить торцы досок водо-теплопроводящим материалом: а) асфальтом или легтем, б) смолой с сажой (подогретой); 4) отпилить расщепленные концы перед укладкой.

Если повреждение появилось, оно уже не может быть исправлено. Дальнейшее развитие его может быть предотвращено первоначальным пропариванием, а затем сушкой при более высокой влажности и продолжающимся периодическим пропариванием.

#### 7. Сырые пятна и плесень

Причины появления: 1) плохая циркуляция; 2) слишком высокая влажность и слишком низкая температура. Способы предотвращения: 1) ускорить циркуляцию; 2) поддерживать температуру сушки выше 63°C.

Способы исправления: 1) пропаривать в течение часа при 71°C; 2) кончать сушку при температуре выше 60°C.

#### 8. Синие пятна (синева)

Причины появления: 1) медленная естественная сушка во влажном климате; 2) неправильная укладка.

Способы предотвращения: 1) сушить в сушилке немедленно после распиловки; 2) мочить в растворе соды. Для устранения появившегося дефекта средств не существует.

#### 9. Коричневые пятна

Причины появления: сушка при слишком высокой температуре.

Способы предотвращения: 1) применять более умеренный режим сушки; 2) ускорить циркуляцию.

Средств для устранения дефекта не существует.

#### 10. Красные пятна

Причины появления: 1) паровые трубы имеют утечку; 2) острый пар ударяет в пиломатериалы; 3) слишком много пропаривания.

Способы предотвращения: 1) исправить трубы для предотвращения утечки; 2) применять более низкое давление пара, если трубы близки к штабелю; 3) подмешивать свежий воздух в паровые струи, прежде чем они коснутся пиломатериалов.

Появившийся дефект неустраним.

Из всех перечисленных выше дефектов самым серьезным является закал, так как он является причиной целого ряда других дефектов. Поэтому, особенно надо следить за тем, чтобы избежать в процессе сушки закала; этим самым увеличатся шансы на высушивание древесины без таких дефектов, как внутренние трещины, коробление, скручивание и пр.

Чтобы освободить совершенно древесину от напряжений, нужно режим, применяемый от закала древесины, поддерживать в течение 6—18 час. беспрерывно. Но если закал очень силен, т. е. если напряжения очень велики, то может оказаться необходимым и более длительное применение режима против закала. Период 6—18 час. применим для сортимента толщиной 25 мм, а более толстые сортименты требуют большей продолжительности этого режима.

| Содержание влаги в древесине в % | Температура в °C |               | Относительная влажность воздуха в % |
|----------------------------------|------------------|---------------|-------------------------------------|
|                                  | твердые породы   | мягкие породы |                                     |
| 15—18                            | 71—81            | 81 и выше     | 90—95                               |
| 10—12                            | 71—81            | 81 » »        | 80—85                               |
| 6—8                              | 71—81            | 81 » »        | 65—75                               |

Довольно часто для освобождения древесины от закала применяется кратковременная пропарка при 100%-ной относительной влажности. Однако применение этого способа не рекомендуется, так как он вызывает закал с обратным напряжением и в результате древесина все же будет коробиться при разделке (раскройке). Необходимо помнить, что после применения любого из режимов для освобождения от закала следует при охлаждении древесины поддерживать высокую влажность.

Напряжения от закала уменьшаются также от длительного пребывания древесины в штабелях (не меньше 1—2 месяцев), так как это дает возможность влаге распределиться более равномерно.

#### в) Правила укладки досок в штабелях для сушки в камерах

Неправильная укладка лесоматериалов влечет за собой ряд серьезных дефектов — поверхностные трещины, неравномерную сушку, коробление, скручивание, торцевые трещины, синеву и пр. Поэтому необходимо очень тщательно следить за правильностью укладки. По высоте доски должны быть уложены друг над другом по одной вертикальной линии; один горизонтальный ряд досок от другого отделяется прокладками, уложенными перпендикулярно к доскам; прокладки также укладываются друг над другом по одной вертикальной линии через 1—2 м в одном горизонтальном ряду (в зависимости от толщины сушеного материала). Прокладки должны быть сделаны из совершенно здоровой и сухой древесины и по возможности пропитаны водным антисептиком. Ширина прокладок обычно в 1½ раза больше их толщины. Нормально толщина прокладок принимается равной при толщине досок до 50 мм — в 25 мм, при толщине досок выше 50 мм — в 35 мм. В камерах с реверсивной циркуляцией воздуха доски выкладываются почти вплотную боковыми кромками одна к другой, а в камерах других конструкций между досками в одном горизонтальном ряду оставляются промежутки (зазоры) с расчетом, чтобы сумма их составляла в среднем 30% ширины штабеля; размер прокладок в камерах с реверсивной циркуляцией увеличивается на 1—1½ см против обычных указанных размеров; делается это для облегчения поперечной циркуляции воздуха через штабель. Высота

штабеля в зависимости от конструкции камеры колеблется в пределах от 2 до 3 м. Точно так же и ширина штабеля может быть от 1,2 до 2,5 м.

Торцы досок не должны выходить за габариты штабеля, в противном случае материал трескается. Вообще нельзя допускать свисания торцов; это влечет за собой (помимо растрескивания) также неравномерную сушку и коробление. Крайние вертикальные ряды прокладок должны отстоять не более чем на 0,15—0,25 м от торцов досок и не быть на весу, а упираться в вагонетку или в опорный брус, лежащий на этой вагонетке. Штабеля выкладываются на специальных вагонетках-трэках (фиг. 47). Трэк



Фиг. 47. Трэк для штабеля с продольной выкладкой пиломатериала

дает простейший надежнейший тип вагонеток и состоит из двух параллельных швеллеров № 8 или 10 с прокладками между ними. Швеллеры соединены болтами. В промежутке, образуемом прокладками, имеются два колеса на роликовых подшипниках. Колеса могут быть чугунные со стальным стаканом. Трэки под штабеля устанавливаются так, чтобы расстояние их от конца штабеля было не больше 0,3—0,5 м (в зависимости от толщины досок).

#### г) Устройство камер, их планировка и обслуживание

Основное требование, предъявляемое к сушильным камерам, — их термическая изоляция и малая теплопроводность. В этом отношении хороши стены в  $2\frac{1}{2}$  кирпича с воздушной, опилочной или шлаковой прослойкой в 0,5 кирпича (силикатный кирпич для постройки сушилок исключается). Потолок камер точно так же должен быть тщательно утеплен. Особое внимание следует уделять тепловой изоляции дверей. Лучше всего делать двери сдвижные, подвесные на рельсах, но при небольшом количестве камер можно сделать и распашные. Управление камерой (паровые вентили, рычаги шибберов и пр.) должно быть вынесено наружу в нишу или в специальный коридор управления. При постройке камер с реверсивными вентиляторами должна быть обеспечена надежная смазка вращающихся частей вентиляционной установки. Здание сушилки обычно располагается непосредственно перед цехом, куда подается высушиваемый материал. Загрузочная сторона здания камер должна находиться со стороны склада сырого пиломатериала, выгрузочная — ближе к цеху. С выгрузочной стороны помимо путей в цех должен проходить путь на склад сухого материала. Остывочное отделение, как показал опыт, замедляя охлаждение материала, уменьшает поверхностную засуху и облегчает последующую его строжку. Желательно также после сушки подвергнуть материал действию горячего влажного воздуха (пропарки) в течение 15—30 мин. При лесосушке обязательно должно быть предусмотрено помещение для лаборатории.

## 4. Вторичная обработка древесины в раскройном цехе

### 1) Общие сведения

Продукция лесозавода при распиловке бревен на пиломатериал примерно разбивается на следующие виды:

- 1) брусья и доски — 70%;
- 2) пиленая мелочь — 12—14%;
- 3) опилки — 12%;
- 4) дровяные срезки — 4—6%.

Первые два вида продукции после просушки идут непосредственно в дело.

Опилки идут целиком в энергетическое тепловое хозяйство или частично после отсева и подсушки используются как сырье для выработки древесной муки и крошки, как продукт-наполнитель для изготовления пластмасс (исилолит, линкруст, линолеум), как добавка к глине для изготовления пористого кирпича, силикат-органиков, теплобетона и тому подобных строительных материалов.

Дровяные обрезки используются главным образом как топливо в дробленом виде (щепы) или после сортировки и очистки как сырье для изготовления пластмасс (месонит). Понятие «пиловочная мелочь» включает также такие строительные материалы, как планки, рейки, косые шпонки, штукатурная драль («бакуля») и бруски (штукатурные реечные маты).

Организация выработки той или иной мелочи зависит от потребности и количества исходного сырья — горбов и реек; первый отход получается при распиловке бревна на основном станке лесопильного завода — лесопильной раме или ленточной пиле, второй — при обрезке кромок доски и брусьев — лафета на обревном станке. Главная масса пиломатериалов в виде брусьев разного сечения и чистообрезных досок идет после сушки непосредственно в дело на стройдворы. Необрезные же доски после сушки идут в раскройный цех лесозавода или транспортируются в районные или припостроечные стройдворы.

Наличие раскройного цеха позволяет отгружать в стройдворы производственные заготовки, идущие в дальнейшую обработку в стройдворах по своему непосредственному назначению в строго рассортированном по деталям виде.

Местонахождение раскройного цеха зависит от следующих обстоятельств:

а) если лесозавод должен обслуживать только стройдвор какого-либо крупного строительства, целесообразно расположить раскройный цех при стройдворе. Это особенно удобно в тех случаях, когда лесозавод находится на одной территории со стройдвором и входит таким образом в состав комбината подсобных предприятий при данном строительстве;

б) если лесозавод имеет районное значение в своей продукцией обслуживает сразу потребность нескольких строительства, более целесообразно с точки зрения планировки использовать лесозавод, расположить раскройный цех при лесозаводе. В этом случае раскройный цех готовит и выдает производственные заготовки непосредственно по заказам отдельных строительных или районных стройдворов, причем последний может находиться не при заводе, а в более или менее отдаленном расстоянии в зависимости от экономических выгод транспортировки готовых изделий.

### 2) Транспортирование пиломатериалов с завода

Для перевозки рядовых пиломатериалов на отдельные стройки района может быть использован водный или железнодорожный транспорт.

При наличии водного транспорта стройматериалы, выпускаемые с завода с устойчивой влажностью (не более 15—18%), грузятся в баржи, шаланды или иные лесовозные суда, обязательно в трюм и в сухую погоду. Укладка пиломатериалов в трюме при устойчивой влажности не требует каких-либо прокладок, вентиляционных каналов или колодцев и может производиться вплотную с заполнением всего габарита трюма, поскольку пиломатериал устойчивой влажности не боится поражения грибами.

При наличии железнодорожного транспорта укладку пиломатериала желательно производить в крытые железнодорожные вагоны, но не исключена возможность пользования и открытыми платформами при обязательном соблюдении укладки пиломатериалов в сухую погоду и в плотную массу, чтобы не дать проникнуть сырости внутрь штабеля.

Размеры пиломатериалов особой роли не играют, но желательно, чтобы наибольшая длина пиломатериала не превышала длины железнодорожного подвижного товарного состава, поскольку погрузка длинномером на две платформы всегда сопряжена с потерей полезной грузоподъемности платформ. Если пиломатериал отгружается с биржи лесозаводов как рядовой, никакой торцовки для забеливания, т. е. для получения чистых торцевых отрезков, не требуется во избежание порчи пиломатериалов при перевозке в условиях переменной влажности.

### 3) Обработка полуфабрикатов на стройдворах

Дальнейшая и окончательная распиловка и обработка заготовок в полуфабрикаты и готовые детали (изделия) могут производиться на районных или местных стройдворах.

Районные стройдворы по схеме генерального плана включают следующие цеха и складские устройства (фиг. 48).

а) Биржа пиломатериалов или склады-навесы для приемки и хранения поступающего на производство сырья или полуфабрикатов.

Возможны следующие варианты:

1. Сырье на биржу поступает в виде рядовых пиломатериалов в сыром виде. В этом случае биржа пиломатериалов устраивается так же, как при лесопильном заводе с укладкой пиломатериалов в штабеля воздушной сушки.

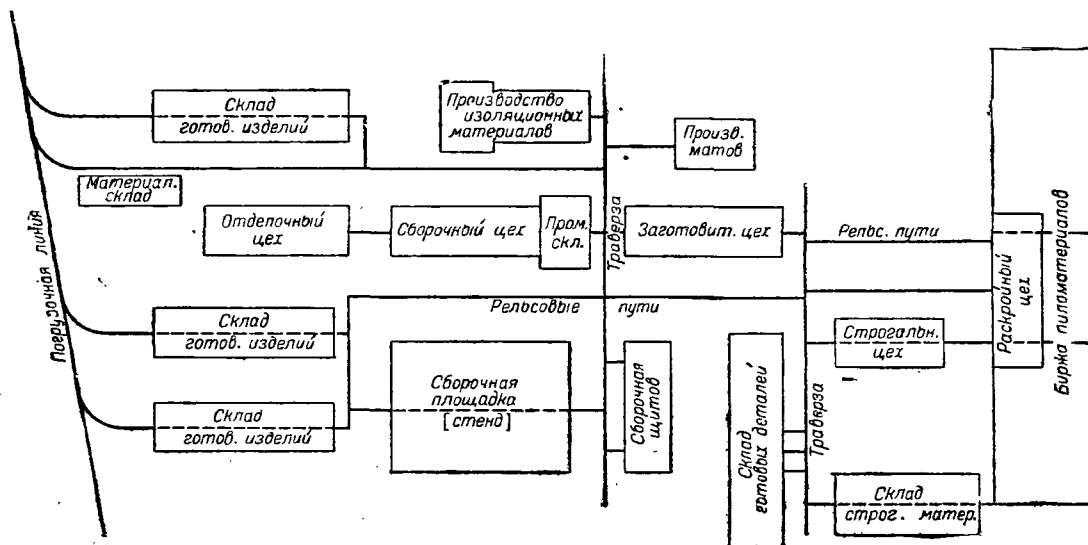
2. Биржа связана железнодорожными путями с сушильным хозяйством, каковое в этом варианте и должно обязательно быть запроектировано по пропускной способности на 100% оборота биржи с тем, чтобы пиломатериал, поступающий в обработку, ни в коем случае не имел влажности выше устойчивой (15—18%).

Между сушильными камерами и заготовительным цехом обязательно устройство склада-навеса для сушки пиломатериалов, для равномерного распределения остаточной влажности по всей толщине доски и предохранения сухого пиломатериала от неблагоприятных атмосферных влияний. В этом складе пиломатериал хранится без перекладки на вагонетках или сушильных траках либо складывается в плотные пакеты («тиры»). Во избежание штучной перевалки грузов склад должен быть оборудован подвесными талями-кошачами грузоподъемностью  $1\frac{1}{2}$  — 2 т.

### 4) Цех и его основное оборудование

Цех охватывает три основных процесса: 1) поперечная и продольная раскройка доски на заготовки с последующей сортировкой, 2) острожка деталей и 3) выделка деталей заготовок в чистоте.

Если размер производства невелик и требует при сборочных процессах до 60 человек в смену, первый и второй процессы можно запроектировать в одном здании, объединив раскрой и первичную основную острожку пиломатериалов (первый вариант). Этот вариант имеет то неудобство, что пиломатериал приходится сразу направлять в два потока, поскольку не все детали требуют острожки. Лучшие результаты в смысле чистоты производственного процесса дает второй



Фиг. 48. Схема районного стройдвора



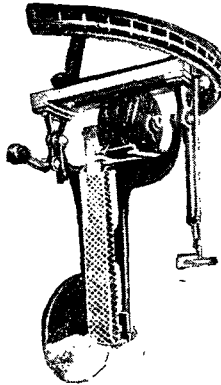
вариант — выделение раскройного отделения в самостоятельный цех.

а) Раскройное отделение

Раскройное отделение должно иметь следующие станки:

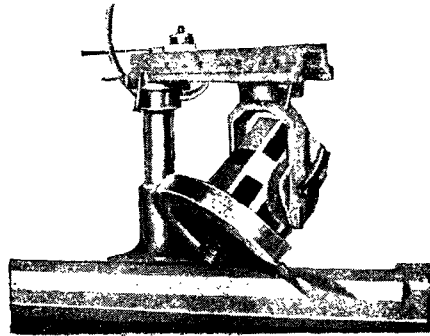
1) Поперечно-пильные станки.

Эти станки работают при помощи циркулярной пилы двух типов — «маятника» с вертикальной (фиг. 49) или горизонтальной подвеской (фиг. 50) (педальная пила) и консольного станка (фиг. 51), где пила подается или на салазках или шарнирно-рычажным сочленением в виде параллелограмма. Изображенный на фиг. 49 маятниковый станок поворотного типа и консольные станки могут работать на циркулярных пилах малого диаметра и давать чистый пропил в разных плоскостях, не меняя способа подачи той же доски под распиловку. Производительность поперечно-пильных станков колеблется в пределах 18—36 резов в минуту при средней ширине доски в 15 см, т. е. 2,5—5,4 м чистого пропила в минуту. Все типы поперечно-пильных станков имеют обычно подающие столы с ридиками на деревянной станине, которые располагаются или по-



Фиг. 49. Поперечно-пильный станок «маятника» с вертикальной подвеской поворотного типа

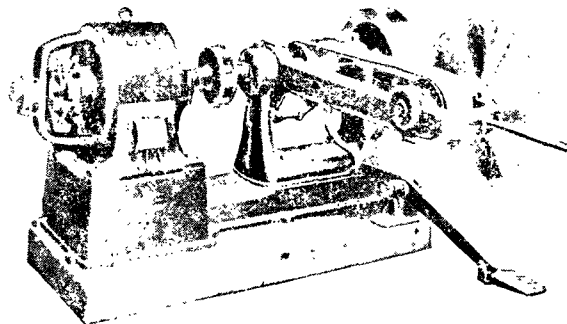
Продольно-пильные станки строятся с ручной и с автоматической подачей. Последним следует



Фиг. 51. Поперечно-пильный консольный станок

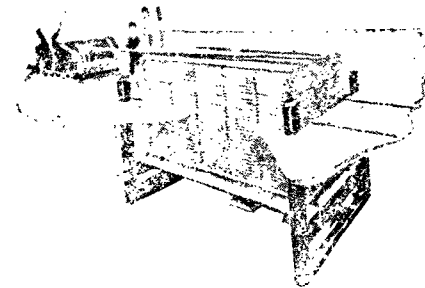
отдавать предпочтение не только из-за более быстрой подачи, но главным образом ввиду правильности и чистоты реза. Производительность продольно-пильных станков при ручной подаче — от 2 до 8,0 м, при автоматической — от 8,0 до 60 м и выше в минуту.

перек или (чаще) вдоль оси здания с непосредственным приклинанием рельсовых путей, идущих от промежуточного склада для подачи досок на вагоны или сушильных трэках. Очень удачным приспособлением для подачи пиломатериалов в станну является подъемный трап (фиг. 52) в конце рельсового пути. Вагонетка в этом случае закатывается на трап, который при помощи электромотора с кнопочным управлением всегда держит верхний ряд досок на уровне подающего стола и сильно облегчает работу станочника при подаче на стол поперечно-пильного станка.

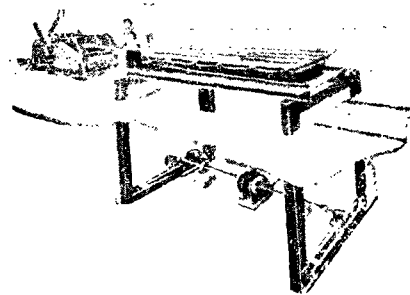


Фиг. 50. Поперечно-пильный станок с горизонтальной подвеской (педальная пила)

2) Продольно-пильные станки. Режущим инструментом такого станка (фиг. 53) также служит циркулярная пила. При продольном раскросе укороченные по основным размерам доски распиливаются вдоль на бруски и планки.



а)



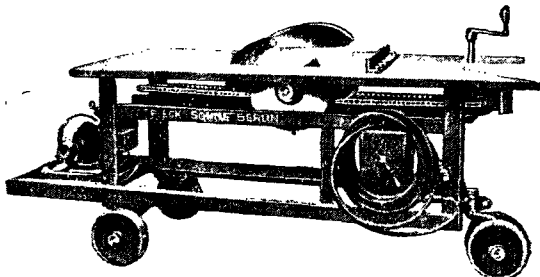
б)

Фиг. 52. Подъемный трап для подачи пиломатериалов в станку: а — в начале разгрузки штабеля; б — в конце разгрузки штабеля

Раскросенный таким образом пиломатериал обязательно требует сортировки и последующего раскроса как вдоль, так и поперек или на тех же станках или на станках, дополнительно поставленных в поток по ходу.

3) Транспортеры. При более крупных размерах производства с верных двух станков

ваготовки попадают на специальный ленточный или пластинчатый транспортер, где на ходу производятся сортировка и отбор деталей, а брак и отходы проходят транспортер, откуда сваливаются на вращающийся диск где производят окончательный отбор мелких брусков и планок для последующей сборки на автоматах в более крупные детали путем вырезки шпунта и гребня вдоль кромки и склейки в одно целое.



Фиг. 53. Продольно-пильный станок

Изготовленные таким образом черновые детали либо поступают дальше в строгальное отделение либо, если острожки не требуется (стойки, карнас, балки, стропила), непосредственно на склад готовых изделий, где подвергаются маркировке, а иногда перед выпуском новой серии идут в пробную сборку на площадку (сборочный стэнд). Такие элементы, как балки на пластинчатых нагелях, стандартные стропильные фермы, косяки для кружально-щитовых сводов, идут на стэнд для окончательной сборки и проверки под лекало и для пробных нагрузок.

В раскройном отделении при наличии заготовок для кружал устанавливается ленточная пила средних размеров с пилой 50—75 мм ширины для выпилки кривых под шаблон. Производительность ленточных пил для подобных работ невысока, поскольку подача применяется вручную (2—5 м/мин чистого реза).

В раскройном отделении при наличии крупных деталей (элементов стен, перекрытий и стропильных ферм) применяется рельсовый транспорт на вагонетках или платформах, непосредственно связанный со сборочной площадкой; при наличии же мелких деталей (столярно-строительных) — безрельсовый транспорт на подъемных ручных тележках или электрокарах.

Черновые заготовки столярно-строительных конструкций поступают в строгальное отделение, где и подвергаются дальнейшей обработке.

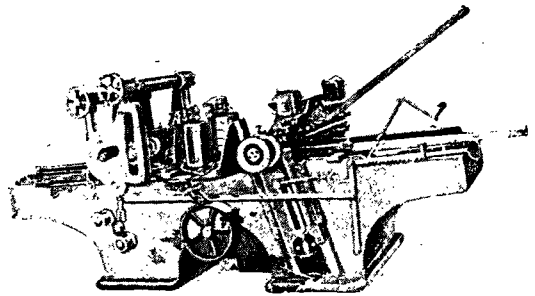
### б) Строгальное отделение

В строгальном отделении ставятся следующие станки:

1) Трех- или четырехсторонний строгальный станок тяжелого типа (фиг. 54) и высокой производительности с автоматической подачей (24—60 м/мин и выше). Строгальные станки новейших конструкций обязательно снабжаются так называемой гладильной ножевой коробкой для обработки лицевой стороны ваготовок на чисто.

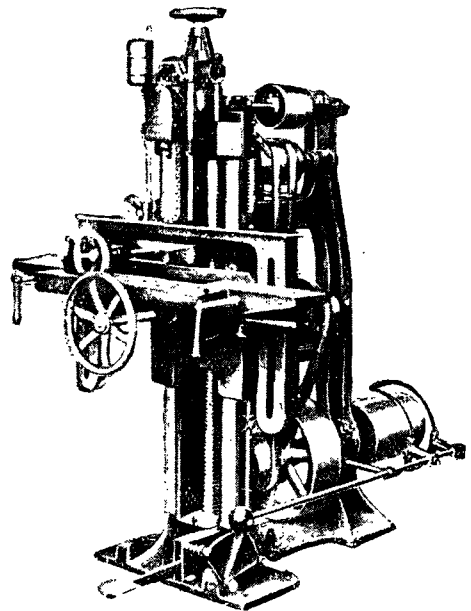
2) Шипорезные станки тяжелого типа для обработки косяков и коробок на шип. Шипорезные станки бывают одно- или двухсторонние; в процессе обработки тор-

цов сначала производится обрезка детали точно по размеру, а затем отборка шипов. Подача на таких станках — обычно автоматическая цепная; скорость подачи — 0,5—1,5 м/мин чистой отборки шипов.



Фиг. 54. Четырехсторонний строгальный станок тяжелого типа

3) Цепно-долбежные станки для выборки гнезд для сквозных шипов в крупных балках и брусках. Цепно-долбежные станки (фиг. 55) очень удобны для массовой стандартной работы, отличаются высокой производительностью

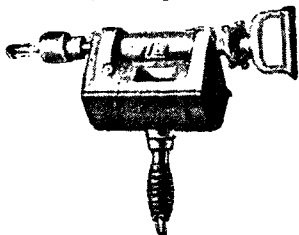


Фиг. 55. Цепно-долбежный станок

(от 0,01 до 0,06 м/сек) и точностью обработки профиля, так как режущим инструментом у этого станка служит бесконечная шарнирно-фрезерная цепь, причем на каждый размер и профиль устанавливается специальная цепь. Бесконечная цепь натягивается между двумя вертикальными звездочками, закрепленными в скользящем вертикальном суппорте. При выборке глухих шипов эти станки не всегда удобны, поскольку дно гнезда получается полукруглое по профилю цепи и диаметру обводной звездочки. В случае необходимости зачистки таких гнезд требуется установка долбежного станка с ручной подачей.

4) Переносные электросверла. Часто для высверливания отверстий под круглые

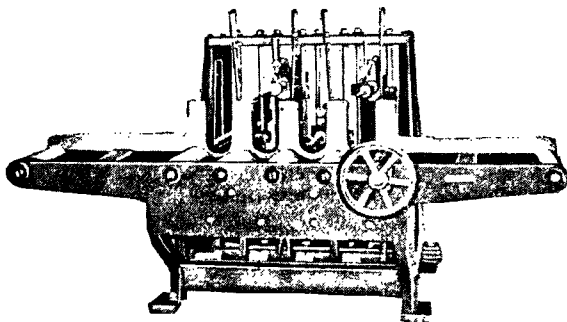
нагели («шканты») и для болтовых отверстий на сборочной площадке устанавливаются переносные электросверла с ручной подачей (фиг. 56). Электрические сверла (дрели) есть разных типов: а) одноручные (револьверного типа), б) двухручные и в) с опорной площадкой. Сверла



Фиг. 56. Переносное электросверло с ручной подачей

последнего типа дают более точную работу и центровку дыр, сверла же нажимные, где при работе вся дрель с мотором вывешивается на руках, требуют хорошей квалификации и физической выносливости рабочих. Часто однако переносные электрические дрели уводят сверло от центра, особенно если приходится работать длинно-проходными сверлами.

5) Многошпиндельные стационарные станки считаются лучшим типом сверлильных станков (фиг. 57). Отдельные сверла насаживаются на гибкие раздвижные



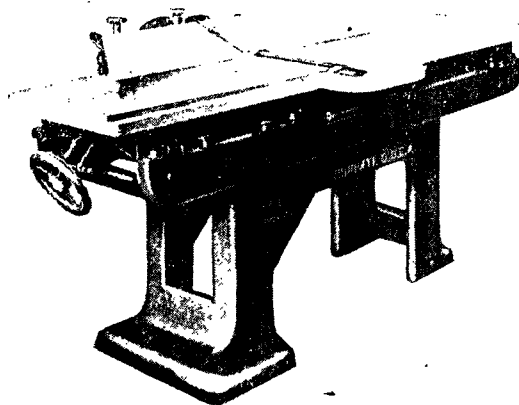
Фиг. 57. Многошпиндельный стационарный сверлильный станок

шпиндели и притом не только в одной плоскости, но и под разными углами. Этот тип станков дает наивысшую производительность и точность обработки. Часто перед пропуском заготовок через четырехсторонние станки требуется в целях более точной сборки деталей предварительная обработка под угол или профуговка основной, опорной плоскости доски или бруса. Такие работы производятся на фуговочных станках (фиг. 58) обычно с ручной подачей, т. е. со средней производительностью 4 м/мин.

В этих случаях фуговочные станки ставятся перед четырехсторонним строгальным станком. Для тонкого обшивного материала фуговочный станок не нужен, и заготовки сразу пропускаются через четырехсторонний строгальный станок лицевой стороной вниз через гладильные ножи.

6) Ребровый и ленточно-делительный станок. При заготовке большого количества тонкой обшивки лесозавод для удобства транспорта и сушки выпускает иногда

доски не одинарной, а двойной и тройной ширины с последующим после сушки раскроем их на ребровом или ленточно-делительном станках. Ленточно-делительные станки имеют при прочих равных условиях производительность примерно в два раза меньше ребрового станка (до 44 м/мин). Для этого вида работ на ребровых станках ставятся обязательно циркульные, так называемые конические пилы для уменьшения ширины пропила. Следует отметить, что разводка, правка и рихтовка конических пил требуют высокой квалификации инструментальщика-пилостава.



Фиг. 58. Фуговочный станок с ручной подачей

7) Б ан д а ж и - ф у т л я р ы. При производстве на районных стройдворах деталей деревянных конструкций последние изготавливаются в виде полуфабрикатов — остроганные и нарезанные до стандартных размеров, но с припусками, без обработки торцов и без засверловки дыр, так как при последующем транспорте чрезвычайно трудно сохранить торцы от механических повреждений. Если почему-либо детали требуется доставить на место стройки в окончательно обработанном виде, в этих случаях практикуется упаковка деталей пакетами с заделкой концов специально-патентованными бандажами-футлярами с обратной доставкой последних после приемки деталей на стройке. В пределах СССР это является еще новинкой и нигде практически не применялось.

Если местные стройдворы не получают готовых деталей, а заготавливают их сами, то как оборудование, так и порядок обработки и сборки остаются те же. Разница только в мощности механического оборудования цехов. В процессе механической обработки деталей и заготовок деревянных конструкций на месте производства, особенно в строгальном отделении, складируется большое количество отбросов в виде главного образом стружки, опилок и срезов. Общее количество отбросов достигает 20-45% от массы пропущенной через цеха древесины. Поэтому механизация транспорта отбросов и дальнейшая их утилизация играют немаловажную роль при удешевлении стоимости производства. Транспорт отбросов, как общее правило, пневматический при помощи всасывающей установки. Станковая стружка находит применение в смеси с древесной шерстью для изготовления фибролита, а опилки, отсев стружки и срезы идут в топливо.

### в) Заготовительное отделение

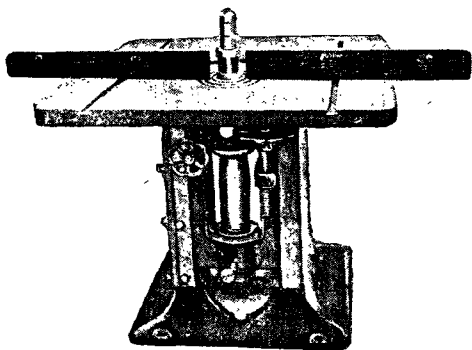
Раскройное и строгальное отделения имеют непосредственную связь с заготовительным отделением, где производится механическая обработка заготовок для изготовления столярно-строительных деталей, главным образом оконных переплетов и дверных полотен. Заготовки в этот цех попадают через промежуточный склад от раскройного отделения.

В заготовительном отделении должны быть в порядке последовательности технологического процесса обработки заготовок установлены следующие станки:

1) **Фуганок** (фиг. 58) для обработки двух основных опорных плоскостей под угол. Подача и пропуск на этих станках — главным образом ручные. Каждая деталь в процессе фуговки пропускается в среднем 2—3 раза, что и следует учитывать при подсчете производительности станка. Если же благодаря неумелой сушке у заготовок имеется продольный изгиб, то многократность пропуска увеличивается и полезная производительность станка падает.

2) **Пропускной строгальный станок** (рейсмус) для обработки деталей на заданную толщину и ширину. Эти станки обычно имеют автоматическую роликовую подачу от 8 до 24 м/мин. Заготовки приходится пропускать через станок при нормальном допуске (3 мм) один или несколько раз.

3) **Фрезерный станок** (фиг. 59) для выборки калевки, фасок, четвертей, пазов и т. д. Фрезерные станки обычно имеют ручную подачу из-за разнообразия встречающихся профилей. Производительность — 2,5—4,0 м/мин в зависимости от профиля обработки.



Фиг. 59. Фрезерный станок для выборки калевки, фасок, четвертей, пазов и пр.

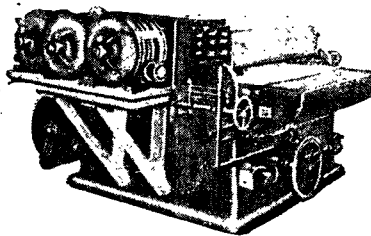
4) **Шипорез** (комбинированный станок) для обработки торцов деталей на шип с оторцовкой заготовки точно по длине перед зарезкой шипа и проушин. Наиболее современными являются станки с двухсторонней автоматической подачей. Как указывает название, на этих станках ведутся обработка и зарезка шипов одновременно с обеих сторон при автоматической подаче. Производительность таких станков — до 50 заготовок в минуту, или 100 шипов (2,0—3,5 м/мин чистого реза).

5) **Цепно-долбежный станок** (фиг. 55) для выборки гнезд. Если при сборке строительных деталей употребляются не сквозные шипы, а круглые нагели на соединение впритык (как это имеет место на ряде фабрик по изгото-

влению дверных полотен в США), вместо шипорезов и цепно-долбежных станков употребляются специальные автоматы по изготовлению круглых нагелей (шкантов) и автоматы по засверловке дыр и вставке шкантов на клей. В СССР этот способ соединения еще не привился, несмотря на ряд преимуществ по скорости и точности сборки, экономии материала (до 10%) и прочности соединения.

6) **Автоматы для получения филенок, щитков и тому подобных деталей** устанавливаются после фуганков (отдельным потоком) и служат для припазовки и склейки отдельных дощечек в щиты (станок Раймана).

7) **Верные пресса для склейки впритык или на шипы** — пластинчатые или круглые.



Фиг. 60. Трехбарабанный шлифовальный станок

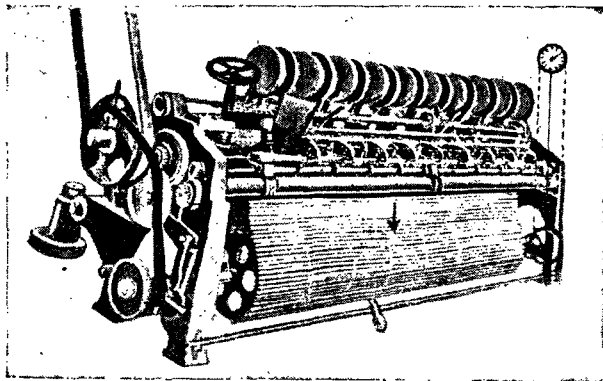
После склейки и обрезки щитов по размерам на формоточном циркулярном станке (трепильном) последние обрабатываются на пропускном станке на заданную толщину и поступают в промежуточный склад сборочного цеха или пропускаются предварительно через цилиндрические (двух-, трехбарабанные) шлифовальные станки (фиг. 60). Чаще шлифовальные станки устанавливаются в сборочном цехе, поскольку шлифовка изделий относится к отделочным процессам.

Производительность современных деревообделочных станков весьма высока, например при одном автомате Раймана, одном шипорезе и двойном комплекте остальных станков производительность однолопных пятифиленчатых дверей можно довести до 6 000 шт. в смену.

Основное правило при размещении станков в заготовительном цехе состоит в том, чтобы расстановка станков соответствовала последовательности процесса обработки без возвратных движений заготовок. Внутрицеховой транспорт применяется обычно безрельсовый на подъемных платформах как наиболее гибкий и менее всех остальных видов мешающий работе и обслуживанию станков. Уборка отбросов (опилок и стружки) — исключительно пневматическая. Между заготовительным цехом и сборочным желательно иметь промежуточный склад деталей для бесперебойности сборочных процессов. Емкость промежуточного склада должна быть не меньше, чем на двойной постоянно переходящий запас деталей дневной производительности сборочного цеха. Так как при обработке заготовок в массовом количестве никогда не удастся использовать всю древесину по прямому назначению и часть ее (6—10%) составляют отходы (брак и недомерок), всегда приходится ставить вопрос об использовании этих отходов на нужды того же строительства. Лучшее применение для отходов — на рейки длиной от 0,5 до 2,0 м, сечением 8 × 10,

10 × 10, 10 × 12 мм для изготовления строительных штукатурных матов. Станки, употребляемые для этого производства, в достаточной мере специализированы и автоматизированы. По существу требуются два станка: 1) многопильный реечный станок, 2) автомат для вязки матов (фиг. 61). Вязка матов требует оцинкованной проволоки толщиной 0,6 и 1,2 мм.

Короткие обрезки разной ширины и толщины идут как исходное сырье на выработку деталей как в самих строениях, так и передвижной фа-



Фиг. 61. Автомат для вязки матов

нерованной мебели для нужд строительства. Заготовка из мелочи склеенных брусков производится на автомате Раймана и верных прессах в том же заготовительном цехе.

### 5) Сборочный цех

Сборочный цех в стройдворах размещается обычно в двух отделениях: а) сборочной площадке и б) сборочном отделении стройдеталей.

1) Сборочная площадка (станд) служит для сборки частей элементов зданий, там же обычно производят и сборку щитов с заполнением их различными изоляционными материалами. Обычно она размещается под открытым небом на стеллажах, где производится сборка каркасов и стропильных ферм. Оборудование ее состоит главным образом из переносных или подвесных электродрелей, механических отверток, рубанков, сверл для высверливания сучков, ручных молотков, набора лекал и шаблонов. Все оборудование хранится в кладовых при площадке. Рядом обычно располагают крытый навес для сборки щитов — элементов стен зданий.

2) Сборочное отделение стройдеталей, поскольку там широко применяется клейка деталей, всегда устраивается в теплом, отапливаемом здании. Оборудование его состоит из сборочных верстаков, приводных механических вайм и шлифовальных станков. Процесс сборки строительных деталей ведется бригадами поточно.

При сборочном цехе в отдельном изолированном помещении устраивается клееварка с расстановкой клейевых бачков на водяной бане около сборочных верстаков и вайм.

При хорошо организованном заготовительном цехе и последующей сортировке и браковке заготовок в сборочном цехе не требуется набора

ручного столярного инструмента кроме стамесок, ножовки и рубанка с двойной железкой для зачистки изделий после сборки.

Над сборочными верстаками обязательно размещение электросверл для высверливания и заделки сучков.

Сборочные ваймы представляют собою станину с механическим приводом, приводящим в движение при помощи червячных передач параллельные бруски-зажимы. Между зажимными брусками внутри, на опорной плоскости ваймы располагается собранный насухо оконный переплет или дверное полотно, которые при помощи зажимных брусков обжимаются после обмазки шпоров клеем до отказа под прямой угол. После обжима производится расклейка шпоров или засверловка и загонка нагелей.

За сборкой следует процесс зачистки сопряжений, заделка сучков и шлифовка собранного изделия.

Грунтовка изделий в сборочных цехах не производится; все малярные работы переносятся в отдельное помещение малярно-отделочного цеха. При крупных размерах производства грунтовка и окраска изделий производится при помощи пульверизаторных аппаратов с последующей сушкой изделий в тоннельных или коридорных сушильных камерах с паровым обогревом.

Готовые изделия хранятся в специальных складах, где главное внимание обращается на хорошую вентиляцию помещений, защиту изделий от прямых солнечных лучей и тщательную укладку изделий на правильно и прочно установленные фундаменты без каких-либо перекосов.

Следует помнить, что нарушение одного из этих условий хранения готовых изделий влечет за собой их растрескивание и коробление, особенно если влажность древесины превышает устойчивую влажность для данных условий и изделие находится в состоянии воздушно-сухой древесины. В последнем случае нужно обращать внимание на вентиляцию, так как изделия при повышенной влажности не застрахованы от загнивания, поскольку граница интенсивного поражения древесины грибами соответствует примерно 19% влажности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тначенко М. Е., Кошпентрированные рубки, Сельхозгиз, 1931 г.
2. Шмелев А. Е. и Дашевский Э. Д., Механизация лесозаготовок, ГИТИ, 1931 г.
3. Протанский В. В., Сыромлтинков С. А., Заготовка и транспорт леса, Архангельск Сов. изд., 1932 г.
4. Ленинградский институт по повышению квалификации адм.-технич. персонала, «Сухопутный транспорт леса», Гостехиздат.
5. Лебедев В. И., Дефекты древесины, вызываемые клеями при экспорте пиломатериалов, Архангельск 1931 г.
6. Яновский Лавр, Силав леса, Гослесхозиздат, 1935 г.
7. Быков А. П., Варповальные лодки, Гослесхозиздат, 1933 г.
8. Никольский В. Р., Молочной силой и устройством запаней, Гослесхозиздат, Свердловск 1932 г.
9. Чулипкин Н. П., Исследования факторов и характеристик режимов сушки древесины, труды ВЛАН, вып. 13, 1934 г.
10. Селюгин П. С., Сушка древесины, Гослесхозиздат, 1936 г.
11. Кроть Б. А., Лесопильное производство, Гослесхозиздат, 1933 г.

12. Кроль Б. А., Деревообделочный завод, Гостехиздат, 1935 г.
13. ЦБИТС и ВНИТО деревообрабатывающей промышленности, Оборудование — деревообрабатывающая промышленность, вып. 3, Гостехиздат, 1934 г.
14. Бершадский А. Л., Планирование и расчет производства строительных деталей, Гостехиздат, 1932 г.
15. Дешевой М. А., Механическая технология дерева, ч. 1 и 2, ОНТИ НКТП, 1934 г., 1936 г.
16. Шейнов И. И., Новейшие типы деревообделочных станков, Гостехиздат, 1934 г.
17. Квятковский М. Ф., Строительные деревянные маты, журн. «Лесопромышленное дело» № 5, 1928 г.
18. Баранс А. М., Дефекты древесины в связи с искусственной сушкой, «Лесопромышленное дело» № 9, 1929 г.
19. Лебедев А. Н., Сплотка долготы в пучки по способу Севзаплеспрома, «Лесопромышленное дело» № 3, 1931 г.

1. Ekman W., Handbok, Skogsteknologi, Stockholm 1922.
2. Gibbons W., Logging in the Douglas fir region, Washington, U. S. Department of Agriculture, Bulletin № 711, 1918.

3. Hermann A., Neuzeitliche Einrichtungen zur Holzbearbeitung, Stuttgart.
4. Tiemann H., The kiln-drying of lumber, 4 ed., Philadelphia 1921.
5. Koehler A. and Thelen R., The kiln-drying of lumber, New York 1926.
6. Thelen R., Kiln-drying handbook, Washington, U. S. Department of Agriculture, Bulletin № 1136, 1929.
7. Warlimont P., Das künstliche Holzrocknen, Berlin 1929.
8. Mathewson I., The air seasoning of wood, Washington, U. S. Department of Agriculture, Bulletin № 174, 1930.
9. Seasoning, handling and car of lumber, Washington, U. S. Department of Commerce, 1928.
10. Technical notes of wood, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.
11. Tiemann H. D., Rational kiln-drying schedules, Southern Lumberman, Jan. 15, Febr. 15, March 15 1933.
12. Lundberg H., Ångtorkning av sågvirke, Stockholm, Ingeniörs vetenskaps Akademien, 1929.
13. Henderson H., The air seasoning and kiln-drying of wood. New York 1936.

*Инж. Ю. М. ИВАНОВ*

### III. ИСПЫТАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

#### 1. Общие положения

Работа осуществленной конструкции неизбежно отличается от теоретических расчетных предположений, положенных в основу проекта. Это отличие, вызываемое условностью расчетной схемы, неоднородностью материала, недостатками выполнения, влиянием режима эксплуатации и другими факторами, особенно значительно в деревянных конструкциях.

Поэтому здесь непосредственный эксперимент более чем где-либо может оказаться единственным методом, позволяющим дать правильную оценку работы конструкции, а нередко и своевременно вскрыть недостатки проекта или производства работ.

В зависимости от поставленных требований конструкция может быть подвергнута:

- а) испытанию расчетной нагрузкой;
- б) испытанию до разрушения.

Испытание расчетной нагрузкой<sup>1</sup> позволяет:

- 1) определить величины общих деформаций и
- 2) дать общую оценку работы конструкции под нагрузкой и может быть произведено как в процессе производства работ и при сдаче в эксплуатацию, так и в условиях эксплуатации.

К испытанию расчетной нагрузкой прибегают в случаях:

- а) несоответствия качества материала проектным требованиям;
- б) низкого качества выполнения или введения новых методов производства работ, требующих проверки качества продукции;
- в) признаков недостаточной прочности конструкции (например больших деформаций и т. д.);
- г) использования конструкции в измененных условиях нагрузки и режима;
- д) наличия значительных отклонений от расчета в работе конструкции или в характере воздействия нагрузки;

е) применения новых типов сопряжений или новой системы конструкции.

Испытание до разрушения исключает в себя решение поставленных выше задач и кроме того позволяет:

- 1) проследить работу конструкции и развитие деформаций при дальнейшем возрастании нагрузки выше расчетной;
- 2) выяснить вид деформации разрушения;
- 3) определить наименьшую величину предельной (разрушающей) нагрузки или запас прочности конструкций.

Ввиду большой затраты средств и времени и потери испытуемого экземпляра конструкции испытание до разрушения применяется лишь в тех случаях, когда необходимо получить исчерпывающую оценку работы конструкции; как правило, изготовленные экземпляры конструкции испытываются до установки их на место.

Основным методом испытания деревянных конструкций и сооружений является статический метод.

В последнее время приобретает значение и динамический метод, позволяющий изучить работу конструкции в условиях ее эксплуатации при динамическом воздействии нагрузки (междустаяжных перекрытий, подкрановых балок, кранов, эстакад, мостов и т. д.).

В том случае, когда сооружение состоит из ряда однотипных конструкций (балки, фермы и т. д.), выделяются один или два экземпляра последних, как правило, худшие по качеству, по результатам испытания которых и делается оценка всего сооружения. Если отобранные экземпляры имеют особые индивидуальные недостатки, производится дополнительное испытание экземпляров, средних по качеству, результаты которого должны характеризовать основную массу элементов данного сооружения.

Одним из основных требований, предъявляемых к испытанию, является возможность распространения его результатов на другие экземпляры конструкции, одинаковые по типу и раз-

<sup>1</sup> См. ТУ и Н § 354.

мерам с экземпляром, подвергнутому испытанию. Для этого особое внимание должно быть уделено осмотру конструкций, позволяющему отделить индивидуальные свойства, присущие испытываемому экземпляру, от особенностей работы данного типа конструкции вообще.

Другие требования вытекают из необходимости получить результаты в кратчайший срок с наименьшей затратой материалов и средств.

Требования эти должны быть учтены при составлении программы испытания и проекта испытательной установки, а также при выборе загрузочного материала и места испытания.

Испытание производится по определенной программе, составляемой после ознакомления с расчетом и рабочими чертежами конструкции. Последнее имеет целью выяснение размера и комбинаций нагрузки, установление наиболее ответственных и напряженных элементов и соединений, а также общую проверку основных данных расчета.

Программа должна содержать подсчет испытательной нагрузки с указанием комбинаций и степени продолжительности загрузки (см. ниже раздел 5), расположение точек наблюдения и измерительных приборов, порядок производства измерений и формы соответствующих журналов.

Одновременно с программой делается эскиз испытательной установки. Окончательное уточнение программы и разработка чертежей испытательной установки производится после выяснения условий испытания на месте.

Ввиду необходимости при составлении выводов суммировать результаты многочисленных наблюдений руководителем работами безусловно должно быть сосредоточено в руках одного ответственного лица соответствующей квалификации.

В обязанности указанного лица входят разработка программы испытания, производство осмотра конструкции, ведение журнала испытания, руководство основными операциями и составление выводов.

## 2. Осмотр конструкции перед испытанием

### 1) Цель осмотра

Для правильной оценки работы конструкции и возможности распространения результатов испытания на другие экземпляры необходимо путем осмотра установить все индивидуальные особенности испытываемого экземпляра, которые могут оказать влияние на его работу.

Осмотр должен выявить:

- 1) отклонения от проектных размеров;
- 2) качество материала, выполнения элементов и их соединений;
- 3) обеспечить возможность исправления обнаруженных недостатков, имеющих существенное значение для правильной работы конструкции.

### 2) Проверка размеров

Сначала производится проверка общих геометрических размеров конструкции стальной рулеткой. Размеры плоских конструкций проверяются по возможности в горизонтальном положении конструкции до установки ее на место.

Затем проверяется расстановка стыков и соединений, измеряются поперечные сечения эле-

ментов и рабочие размеры соединительных частей (диаметр нагелей, диаметр и рабочая длина гвоздей и т. д.).

Все размеры сверяются с рабочими чертежами конструкции.

В плоских конструкциях должен быть кроме того построен профиль поясов путем нивелировки переносной рейкой и проверены отклонения из плоскости системы при помощи теодолита.

В пространственных конструкциях должны быть определены координаты основных точек. При наличии в составе пространственной конструкции плоских элементов (например поперечные арки в ребристом своде-оболочке и т. п.) должны быть проверены плоскости последних.

### 3) Качество выполнения

Для оценки качества работы отмечаются недостатки в выполнении отдельных частей и соединений, проверяются прямолинейность элементов, центровка соединений, отмечаются неплотности в стойках и примыканиях, щели в составных элементах и т. п.

При осмотре гвоздевых соединений должны быть проверены направление оси, степень заострения конца и достаточность рабочей длины гвоздя для обеспечения работы проектного числа срезов. Указанная проверка выполняется путем вытаскивания нескольких гвоздей на выбор, причем длина гвоздей сравнивается с общей толщиной соединяемых элементов в натуре. Следует также обращать внимание на наличие трещин в местах гвоздевого забоя.

В конструкциях на кольцевых шпонках должно быть проверено наличие колец<sup>1</sup>. Качество выполнения устанавливается непосредственным осмотром кольцевых соединений, для чего должны быть сняты на выбор наружные доски или наружные стыковые накладные до установки фермы в вертикальное положение.

При осмотре нагельных соединений следует обращать внимание на края нагельных отверстий, наличие или отсутствие повреждения которых дает известное представление о качестве нагельного гнезда. Одновременно должны быть осмотрены передние концы нагелей.

Если при изготовлении соединений применялось специальное оборудование, то необходимо ознакомиться с особенностями последнего для возможности более правильной оценки качества выполнения. Наиболее ответственные соединения должны быть подвергнуты более подробному обследованию. При осмотре необходимо проверить степень плотности натяжных соединений, которая не должна быть чрезмерной<sup>2</sup>.

Это указание относится главным образом к конструкциям, испытание которых производится тотчас после их изготовления или ремонта.

Чрезмерно затянутые соединения должны быть ослаблены до нормального состояния и условий эксплуатации.

### 4) Качество материала

Для оценки качества материала отмечают все крупные его недостатки, а именно: сердцевину, сучки (в особенности на краях досок), трещины, косослой, прорости и т. д.<sup>3</sup>. Особое внимание

<sup>1</sup> См. ТУ и И § 301.

<sup>2</sup> См. ТУ и И § 363.

<sup>3</sup> См. требования к лесоматериалу для конструкций, § 275 ТУ и И.

должно быть обращено на недостатки материала вблизи или в пределах расположения соединенных растопнутых элементов.

Рекомендуется измерять раскрытие трещин и отмечать непосредственно на поверхности древесины пределы их распространения. Такие отметки дают возможность наблюдения за развитием трещин во время испытания.

Попутно определяют породу древесины, что обычно сводится к установлению в конструкции ели или пихты.

Основные отличительные признаки ели следующие: в отличие от сосны ядро ели имеет тот же светлый цвет, что и заболонь; мутовчатые сучки идут перпендикулярно направлению волокон и между ними имеются мелкие отдельные сидящие сучки; весенняя часть годичного слоя и о с т е н н о переходит в более темную летнюю часть<sup>1</sup>.

Затем выясняют, нет ли внешних признаков гнилостного повреждения древесины — наличия грибной флоры, изменения цвета древесины (краснина, темнина) и т. д., а также поврежденный червоточниной, шашиной и т. п.

Для полноты общей характеристики древесины необходимо установить, подвергался ли лесоматериал намеренной сушке и с каким режимом, и проверить наличие внутренних напряжений путем выпиливания силовых секций<sup>2</sup>.

Проверке этой может быть подвергнута партия лесоматериала, из которого изготовлена испытываемая конструкция, или отдельные сортименты при заготовке элементов, а также элементы разрушенной конструкции (см. ниже раздел 6).

Общая грубая оценка механических свойств и влажности лесоматериала, из которого изготовлена испытываемая конструкция, может быть сделана на основании данных испытания лабораторных образцов, отобранных при приемке партии лесоматериала, а также при заготовке элементов.

Механические свойства могут быть определены с достаточным приближением и без испытания образцов — по объемному весу древесины<sup>3</sup>, а более грубо — на основании зависимости, существующей между механическими свойствами и процентом содержания летней древесины.

Так, для некоторых сортов сосны можно принять<sup>4</sup>:

$$R_{15} = 7m + 170, \quad (1)$$

где  $R_{15}$  — временное сопротивление сжатию вдоль волокон при нормальной влажности;

$m$  — процент летней древесины.

Измерение процента содержания летней древесины производится по торцевому срезу<sup>5</sup>, что делает этот способ применимым лишь для элементов с открытыми торцами, доступными для указанных измерений.

Для более точной оценки механических качеств может быть с успехом использована ударная проба на боковую твердость<sup>6</sup>.

Испытание производится путем удара о боковую поверхность сортимента стальным шариком ( $d = 25$  мм), свободно падающим с определенной высоты ( $h = 500$  мм)<sup>7</sup>.

Размер получаемого при этом отпечатка характеризует боковую твердость древесины, но последним исследованиям показавшую хорошее совпадение (коэффициент корреляции 0,80—0,85) с временным сопротивлением сжатию вдоль волокон<sup>8</sup>.

В условиях строительства ударная проба производится следующим способом.

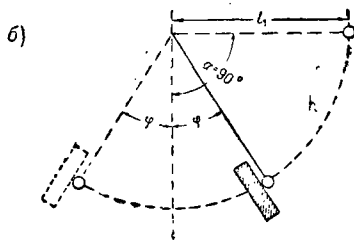
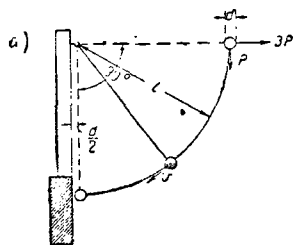
На верхнюю горизонтальную поверхность сортимента ставится специальная рейка с упором для шарика на расстоянии  $h + \frac{d}{2} = 512,5$  мм.

Шарик придерживается в соприкосновении с упором двумя пальцами руки, которая опирается на рейку. Затем пальцы разжимаются, и шарик падает вниз. Для получения резкого очертания отпечатка рекомендуется положить на испытываемую поверхность лист копировальной бумаги.

В наклонных элементах конструкций, установленных на место, ударная проба должна производиться на вертикальных гранях сортиментов.

Испытание в этом случае может быть выполнено по принципу маятника следующим образом.

Шарик, подвешенный на гибкой нити, отводится от испытываемой грани до горизонтального положения нити и затем отпускается (фиг. 1, а). В тот момент, когда нить займет вертикальное положение, скорость шарика будет равна скорости, приобретаемой при свободном падении с высоты, равной длине нити.



Фиг. 1. Схема испытания на ударную пробу

По этому же принципу ударная проба может быть произведена при любом наклоне грани

<sup>7</sup> Известны еще приборы Баумана и Шварца, которые у нас не распространены. Заслуживает внимания первый прибор с пружинным ударником, позволяющий производить испытание при любом положении испытываемой поверхности.

<sup>8</sup> Подробнее см. Шевцов А. Х., Метод ударного определения твердости древесины (печатается), а также Шевцов А. Х., Новый способ определения твердости древесины «Лесопром. и деревообр.», 1932 г., вып. 6, 14.

<sup>1</sup> См. ТУ и Н § 248, Хвойные породы.

<sup>2</sup> Подробнее см. Чулицкий П. И., Лесопромышленное дело, 1930 г., № 9—10, стр. 582; Селюгин Н. С., Методика испытания сушки для дерева, Л. 1932 г., стр. 31.

<sup>3</sup> См. «Влияние влажности, плотности и неправильностей строения древесины», стр. 12—14, а также § 272 ТУ и Н, Определение объемного веса (второй метод).

<sup>4</sup> Данная формула получена для сосны с песчаных почв Московской области (по работам Института древесины), см. Перельгин Л. М., Признаки крепости древесины, «Лесопром. и деревообр.», 1932, вып. 6, 16.

<sup>5</sup> См. ТУ и Н § 277, а также Чулицкий П. И., Оценка качества древесины по ее макроструктуре, ВИАМ, сборник 2, 1933 г., стр. 73.

<sup>6</sup> Предложена проф. Шевцовым А. Х.



сортимента путем подбора соответствующей длины нити.

Длина нити определяется из условия равенства скорости в момент удара нормальной ее величине при свободном падении стандартного шарика с высоты  $h = 500 \text{ мм}^2$ :

$$v = \sqrt{2gh} (\cos \varphi - \cos \alpha) = \sqrt{2gh}. \quad (2)$$

Длина нити  $l_1$  должна быть равна (фиг. 1,б):

$$l_1 = \frac{h}{\cos \varphi} = \frac{500}{\cos \varphi}; \quad (3)$$

для грани с углом наклона к горизонту  $\varphi = 45^\circ$  получим:

$$l_1 = \frac{500 \cdot 2}{\sqrt{2}} = 707 \text{ мм.}$$

Боковая твердость древесины определяется по формуле:

$$H = \frac{Ph}{\omega}, \quad (4)$$

где  $P$  — вес шарика в г;

$h$  — высота падения в мм;

$\omega$  — площадь проекции отпечатка.

Площадь  $\omega$  определяется по формуле:

$$\omega = \frac{\pi d_0^2}{4},$$

где

$$d_0 = \sqrt{d_1 d_2}; \quad (5)$$

$d_1$  и  $d_2$  — наибольший и наименьший диаметры отпечатка.

Боковая твердость приводится к нормальной влажности (15%) по формуле:

$$H_{15} = H_k [1 + 0,0175 (K - 15)], \quad (6)$$

где  $K$  — поверхностная влажность в слое толщи-

При сортиментах, имеющих крупные поперечные размеры, следует производить несколько ударов (пять-шесть) в разных местах поперечного сечения. На радиальных срезах число ударов может быть уменьшено.

При оценке по боковой твердости механических качеств древесины в целом сортименте необходимо обращать внимание на состояние материала в поверхностных слоях. В отдельных случаях, например в конструкциях, находящихся длительное время в эксплуатации, следует удалить наружный слой древесины, имеющий признаки коррозии.

Для приближенной оценки механических свойств древесины может применяться также с и е р л е н и е <sup>2</sup>. Достоинством этого метода является возможность оценки качества древесины во внутренних частях сортиментов; недостатком — громоздкость, а также, судя по последним исследованиям, недостаточная надежность.

Для определения влажности лесоматериала в деле могут быть взяты образцы без повреждения элемента при помощи бурава Пресслера. Ввиду малого объема такого образца для получения более точных результатов из одного элемента необходимо брать несколько образцов. Ввиду того что влажность образца вследствие его рыхлости быстро изменяется, вынутый образец должен быть немедленно заключен в бюкс, вместе с которой он взвешивается <sup>3</sup>.

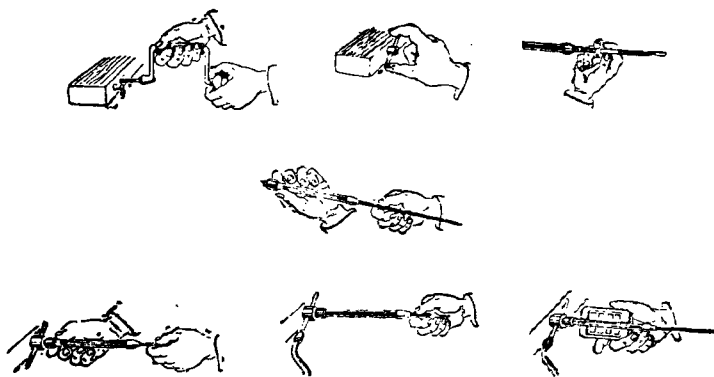
Сверление должно производиться настолько медленно, чтобы сверло не нагревалось.

Без отбора образцов влажность древесины в пределах до точки насыщения волокна может быть определена по электропроводности при помощи специальных приборов, применяемых в практике камерной сушки дерева <sup>4</sup>.

Результаты измерений в значительной степени зависят от определения влажности по сечению и поверхностной влажности. Поэтому для применения в условиях строительства этот метод мало пригоден. При определенных условиях, а именно при сухой поверхности материала и известном градиенте (например при определенном режиме сушки) указанным методом влажность может быть определена с точностью до 2%.

Одной немецкой фирмой предложен следующий новый способ определения влажности по изменению цвета реактивной бумаги, так называемый «диакун» <sup>5</sup>.

В испытуемом сортименте высверливается отверстие диаметром 7 мм и глубиной 100 мм, в которое вставляется стеклянная трубка, заключенная в реактивную бумагу (фиг. 2). При помощи специального держателя реактивная бумага продвигается внутрь отверстия и сортименту и выдерживается там в течение 10 мин. Предварительно воздух из трубки высасывается насосом. Затем производится сравнение цвета бу-



Фиг. 2. Определение влажности по способу «Диакун»

ной приблизительно 5 мм в месте удара (в процентях).

Основной характеристикой механической крепости является временное сопротивление сжатию вдоль волокон  $R_{\perp}$ . Зная боковую твердость  $H$ , можно определить  $R_{\perp}$  сосны по формуле:

$$R_{\perp} = 0,423H + 179. \quad (7)$$

Средняя точность определения величины  $R_{\perp}$  по боковой твердости по сравнению с данными испытания нормальных лабораторных образцов составляет 7—8%.

<sup>1</sup> Хвольсон О. Д., Курс физики, т. 1, изд. 6, 1933 г., стр. 218.

<sup>2</sup> Метод предложен инж. Симонисом К. К.

<sup>3</sup> См. «Грибы-вредители дерева», под ред. проф. Салопникова, ИГО ВНИИ, 1933 г., стр. 417.

<sup>4</sup> Чудинский П. П., Определение влажности древесины методом измерения ее электропроводности, «Лесное хозяйство», 1932 г., вып. 6, 25.

<sup>5</sup> K u l m a n n, Die Holzindustrie, 1933, B. 49.

маги со специальной шкалой. Цвет изменяется от синего до иррозового и в сухом состоянии (повидимому, хлорный кобальт). Продолжительность всего испытания — 25—30 мин. Точность определения влажности — до 1—1,5%.

Этот способ благодаря своей простоте и достаточной точности должен получить широкое распространение. Недостатком его является необходимость высверливать отверстие в исследуемом материале.

При помощи того же прибора может быть определена путем прикладывания стеклянной трубки к наружной поверхности сортимента поверхностная влажность древесины, необходимая например при определении боковой твердости ударной пробой, а также влажность атмосферного воздуха.

При испытании конструкций в условиях экваториальной влажности древесины может быть грубо оценена по относительной влажности и температуре воздуха в помещении с учетом годового режима<sup>1</sup>. Шкала для такой оценки приведена в табл. 1.

Таблица 1

Шкала для оценки влажности древесины

| Относительная влажность воздуха в % | Температура воздуха в °C (выше нуля) | Равновесная влажность древесины в % |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 40                                  | $\frac{15}{30}$                      | $\frac{8}{7}$                       |
| 60                                  | $\frac{15}{30}$                      | $\frac{12}{11}$                     |
| 80                                  | $\frac{15}{30}$                      | $\frac{17,5}{16,5}$                 |
| 100                                 | $\frac{15}{30}$                      | $\frac{30,5}{30}$                   |

### 3. Испытательная установка

#### 1) Требования

В испытательную установку входят приспособления: а) для передачи нагрузки на испытываемую конструкцию; б) для обеспечения нормальных условий ее работы и деформирования при испытании и в) для ее поддержания в случае разрушения, а также и вспомогательные устройства для нагружения и разгрузки конструкции и для производства наблюдений и измерения деформаций во время испытания.

К испытательной установке предъявляются следующие требования:

- 1) обеспечение боковой устойчивости (при испытании плоских систем);
- 2) четкое распределение нагрузки;
- 3) поддержание испытываемой конструкции во время ее разрушения.

#### 2) Боковая устойчивость

Обеспечение боковой устойчивости является основным требованием при испытании плоских конструкций и обычно сводится к раскреплению

сжатого контура или верхнего пояса в простых Салочных фермах.

Выбор способа раскрепления сжатого контура при испытании целиком зависит от раскрепления конструкции в осуществленном сооружении. В зависимости от последнего решается и вопрос об испытании одной или двух ферм одновременно.

При передаче нагрузки на ферму в сооружении через прогоны и отсутствии других связей между фермами вполне возможно испытание одной фермы. В этом случае раскрепление верхнего пояса осуществляется в соответствии с проектом при помощи прогонов. Последние одним концом опираются на испытываемую ферму, а другим неподвижно закрепляются на второй ненагруженной ферме, поставленной параллельно и жестко раскрепленной специальными подкосными рамами (фиг. 3) или на специальных рамах жесткости соответствующей высоты (фиг. 4 и 5).

В обоих случаях восприимчивые рамами жесткости горизонтальных усилий от прогонов должно быть обеспечено постановкой на концах передосов связей (например скобы), способных передавать растягивающие усилия (фиг. 6, а), и укреплением нижних концов рам от поднятия (фиг. 6, б). С этой целью последние связываются со связями, врытыми в грунт столбами или же загружаются какии-либо грузом достаточного веса.

Сплошной настил, непосредственно уложенный на пояс и обеспечивающий его устойчивость при продольном изгибе, не может быть удален при испытании без нарушения нормальных условий работы конструкции. В этом случае для испытания необходимо выделить самостоятельный жесткий элемент покрытия, который обычно образуется парой ферм, соединенных настилом (фиг. 7).

При ломаном и криволинейном верхнем поясе боковая устойчивость ферм вполне обеспечивается жесткостью настилов и обычно никаких дополнительных мер не требуется.

При прямолинейном верхнем поясе конструкции, например двутавровые балки с перекрестной стенкой, и соответственно плоском настиле для получения неизменяемой системы необходима постановка поперечных связей в плоскости опорных вертикальных стоек (фиг. 8).

Арочные фермы, оба пояса которых сжаты, обычно бывает снабжены поперечными связями и таким образом вместе с прогонами образуют пространственно-жесткую систему. Испытание таких конструкций также осуществляется путем выделения жесткого элемента покрытия, образованного парой ферм, соединенных связями и крышей.

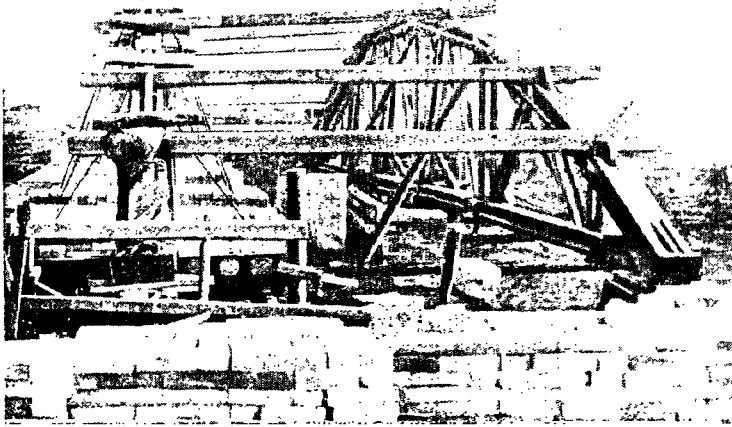
Фермы с подвесным потолком ввиду сложности передачи нагрузки при испытании одной фермы также, как правило, испытываются парно.

В горизонтальном положении допустимо испытывать лишь балочные системы, имеющие раскрепление верхнего пояса при помощи несущих прогонов. Однако такое испытание ввиду и возможности обеспечить свободное деформирование фермы в своей плоскости и точно определить величины прилагаемых нагрузок не рекомендуется.

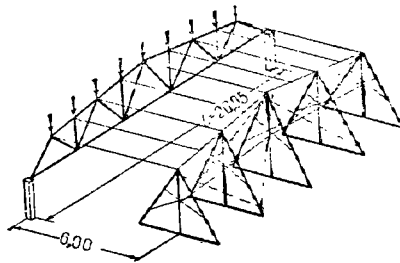
#### 3) Передача нагрузки

Четкость распределения нагрузки является весьма существенным требованием и невыполнение его приводит к совершенно неправильной оценке работы конструкции.

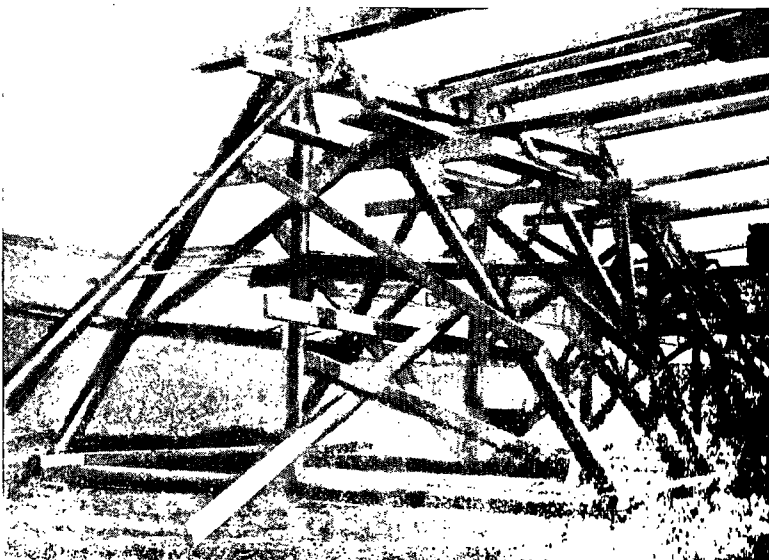
<sup>1</sup> Подробнее см. К р о т о в Е. Г., Технология дерева, 2-е изд., 1952 г., номограмма на стр. 44.



Фиг. 3. Испытание одной фермы с раскреплением относительно второй ненагруженной



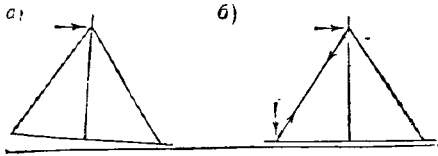
Фиг. 4. Раскрепление фермы относительно рам жесткости



Фиг. 5. Рамы жесткости по плану фиг. 4

При нагружении испытываемых ферм должны быть выполнены следующие требования:

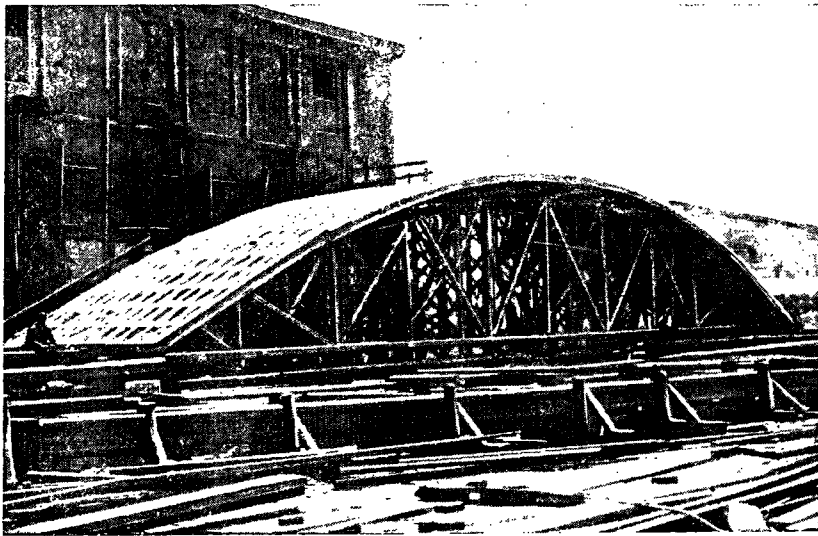
1. При испытании одной фермы раскрепление не должно препятствовать деформациям в ее плоскости. Постановка поперечных связей в пролете в этом случае (фиг. 9) вызывает пере-



Фиг. 6. Схема работы рам жесткости

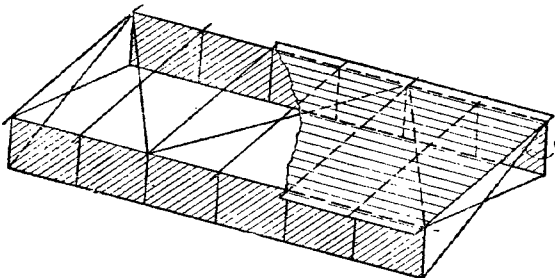
распределение нагрузки и поэтому недопустима.

2. При испытании паренных ферм, образующих пространственно-жесткое целое, необходимо совершенно одинаковое и одновременное их нагружение.



Фиг. 7. Испытание пары ферм, соединенных безреберным настилом

3. При испытании ферм на месте в покрытии должны быть приняты меры к устранению жесткой связи испытываемых ферм с соседними. Это



Фиг. 8. Распределение балок с перекрестной стеной

может быть достигнуто путем разбалчивания и разъединения поперечных связей, назначения ферм для испытания в пределах между шарнирами прогонов, временного поднятия крыши (при

одновременном раскреплении сжатого контура) и т. п. В случае невозможности полного устранения жесткой связи с соседними фермами подерживающее влияние последних может быть приближенно оценено по относительной величине их деформаций, измеряемых при испытании.

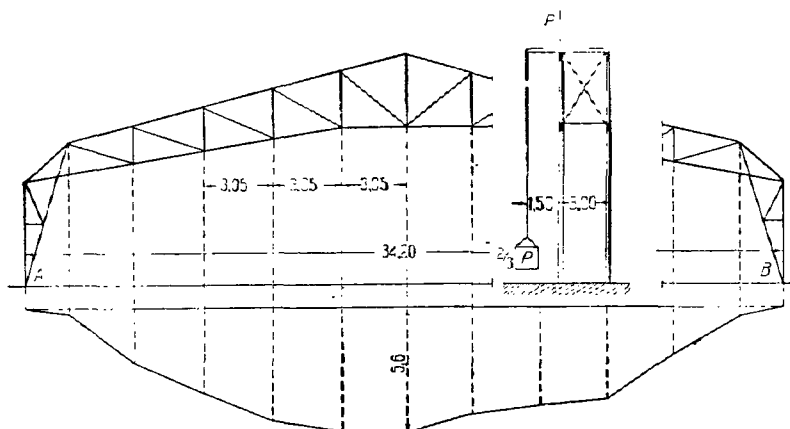
4. При загрузке фермы сверху непосредственно по проектному настилу для правильного распределения нагрузки между узлами необходимо укладывать загрузочные материалы со свободными промежутками (см. ниже), препятствующими образованию сводов в теле нагрузки. Пример неправильного нагружения сверху показан на фиг. 10. Здесь кроме жестких прокладок непрерывный и достаточно высокий слой нагрузки сам по себе обладает большой жесткостью, вызывающей местную разгрузку испытываемой фермы.

5. Для устранения влияния жесткости самого настила (при большой толщине его и малом пролете испытываемой конструкции), а также работы

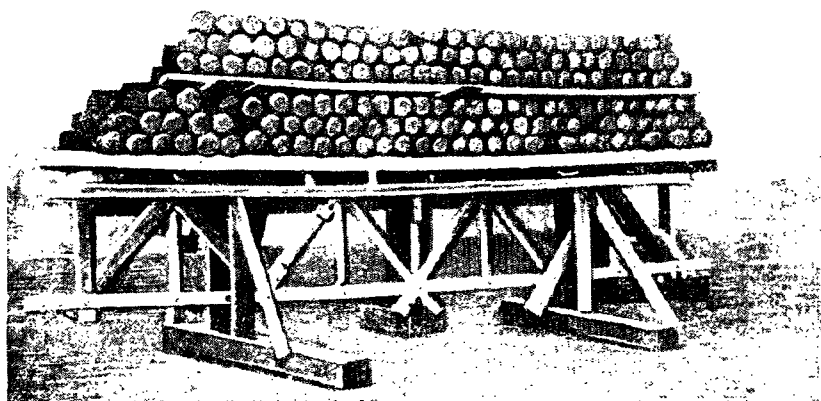
его как свода (при криволинейном или ломаном очертании верхнего пояса), необходимо разрезать настил в нескольких местах по пролету фермы. Указанное требование имеет целью приближение условий работы испытываемой конструкции к расчетным предположениям и к условиям ее работы в эксплуатации.

6. Наиболее рационально подвешивать нагрузку снизу. Лишь при очень частом расположении прогонов (например в сегментных фермах) предпочтительнее нагружать фермы непосредственно по верхнему настилу. Подвешивание нагрузки снизу представляет следующие преимущества: сокращается путь перемещения загрузочного материала и время нагружения, облегчается устройство для поддержания конструкции при разрушении (вследствие расположения нагрузки на более низком уровне), имеется большая гарантия от несчастных случаев и др.

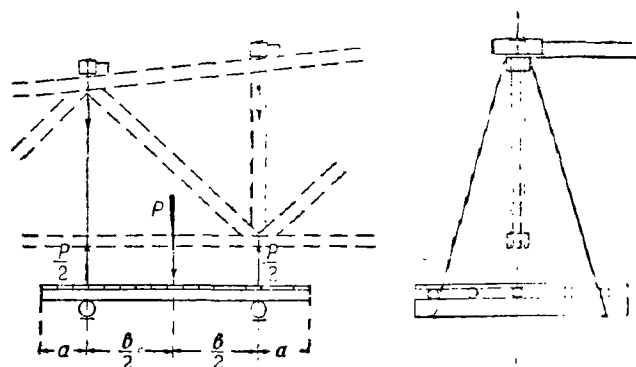
7. В зависимости от рода загрузочного материала могут применяться открытые платформы или ящики (см. ниже). В обоих случаях нижние несущие прогоны должны представлять собой си-



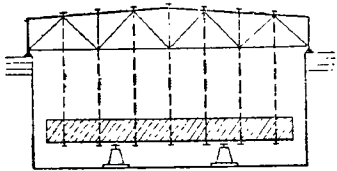
Фиг. 9. Неправильная постановка поперечных связей (Икстрен, Современные деревянные конструкции, 1932 г., фиг. 56, стр. 54)



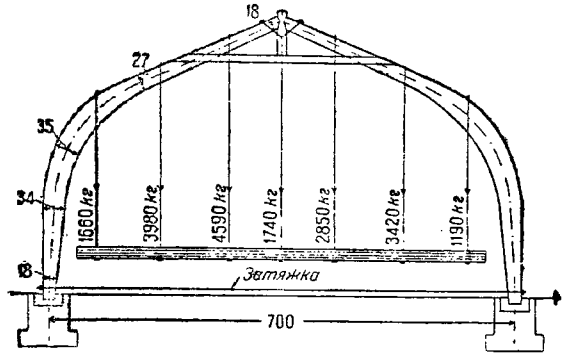
Фиг. 10. Неправильное заграждение сверху (Керстен, фиг. 56)



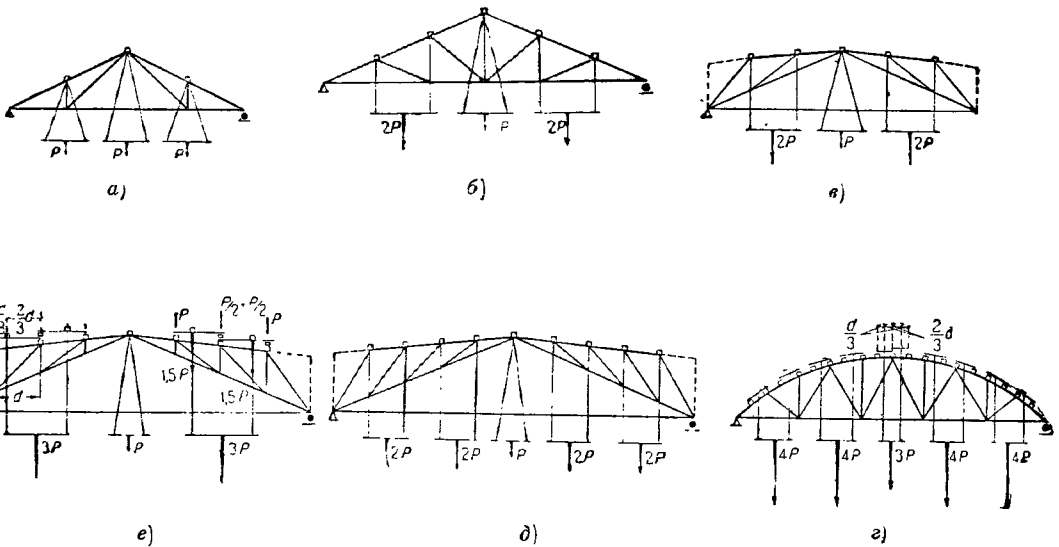
Фиг. 11. Схема подвесной платформы при передаче нагрузки на одну ферму



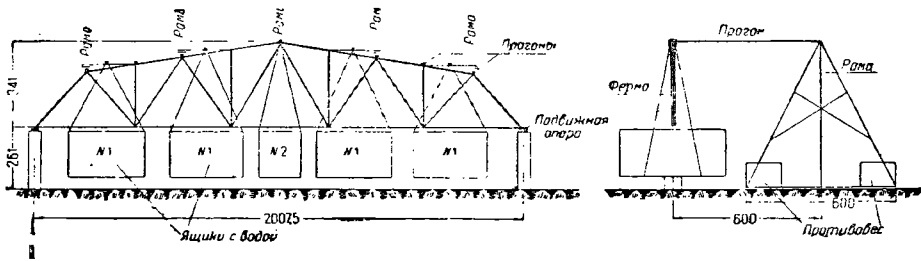
Фиг. 12. Неправильное нагружение снизу (неразрезная платформа) (Керстен, фиг. 55а)



Фиг. 13. Неправильное нагружение снизу (пакет рельсов) (Керстен, фиг. 484)



Фиг. 14. Схемы подвески платформ и распределения нагрузки



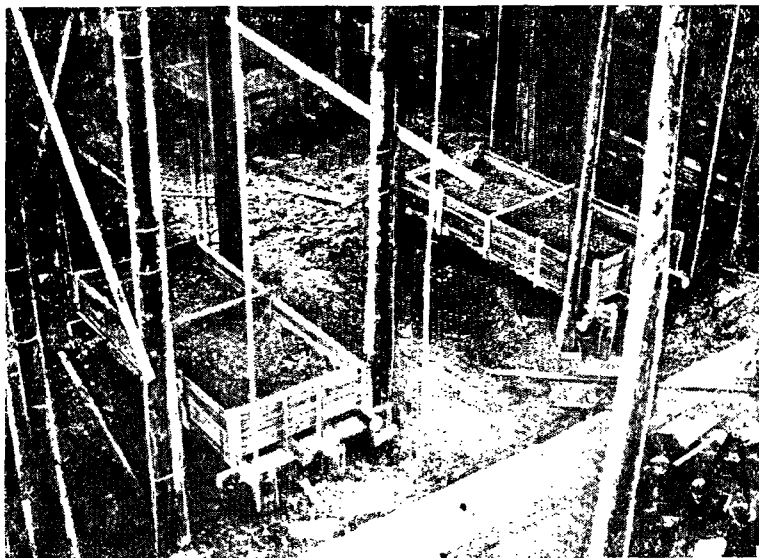
Фиг. 15. Схема подвески ящиков с водной нагрузкой

стему однопролетных балок, передающих нагрузку на тязи по закону рычага (фиг. 11).

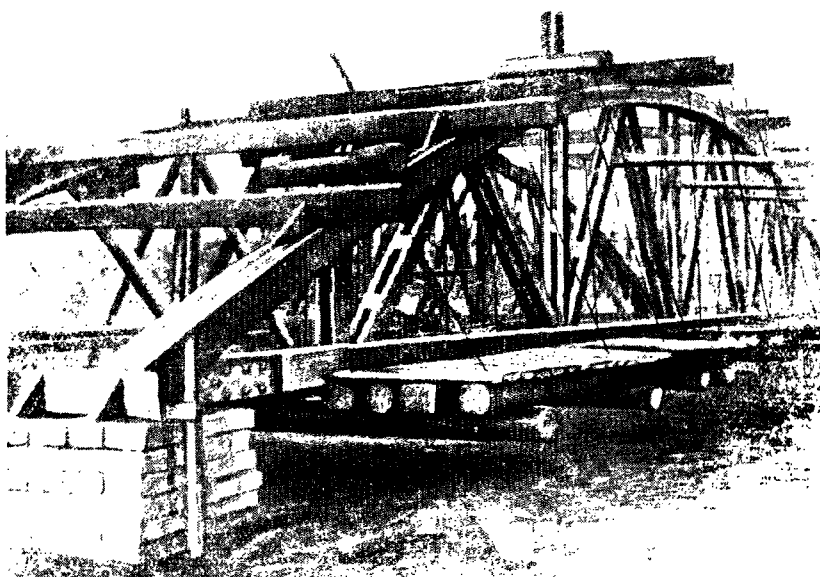
8. Применение неразрезных платформ (фиг. 12), а также нагрузки в виде пакетов из рельсов, бревен и т. д., подвешиваемых в нескольких точках по их длине (фиг. 13), недопустимо. Такал

9. При волюной нагрузке (см. ниже) каждый ящик должен подвешиваться в одной точке фермы (фиг. 15) во избежание перераспределения нагрузки, передающейся на узлы, при разнице в их прогибах.

10. Для уменьшения общего количества за-



Фиг. 16. Подвесные ящики с гравием



Фиг. 17. Подвесная платформа для нагрузки вагончиком

платформа или пакет вследствие своей жесткости образует с испытуемой конструкцией сложную комбинированную систему и тем самым нарушает правильную работу ее.

В зависимости от числа узлов фермы схема подвесных платформ решается различно (фиг. 14).

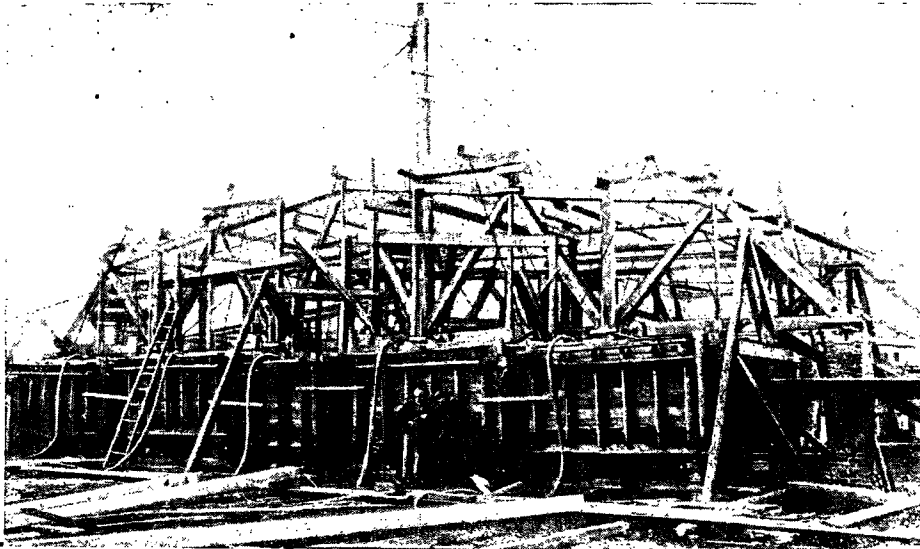
грузочного материала (главным образом при испытании плоскостных конструкций) передача нагрузки может быть осуществлена при помощи рычага. При этом, учитывая недопустимость значительного наклона последнего и сравнительно большие деформации деревянной кон-

струкции, необходимо придавать рычагу достаточную длину плеч или устраивать подвижную и переменную по высоте точку упора, что весьма усложняет установку. В обычных условиях подобная схема может быть выгодна лишь при испытании конструкций малого размера с большой жесткостью.

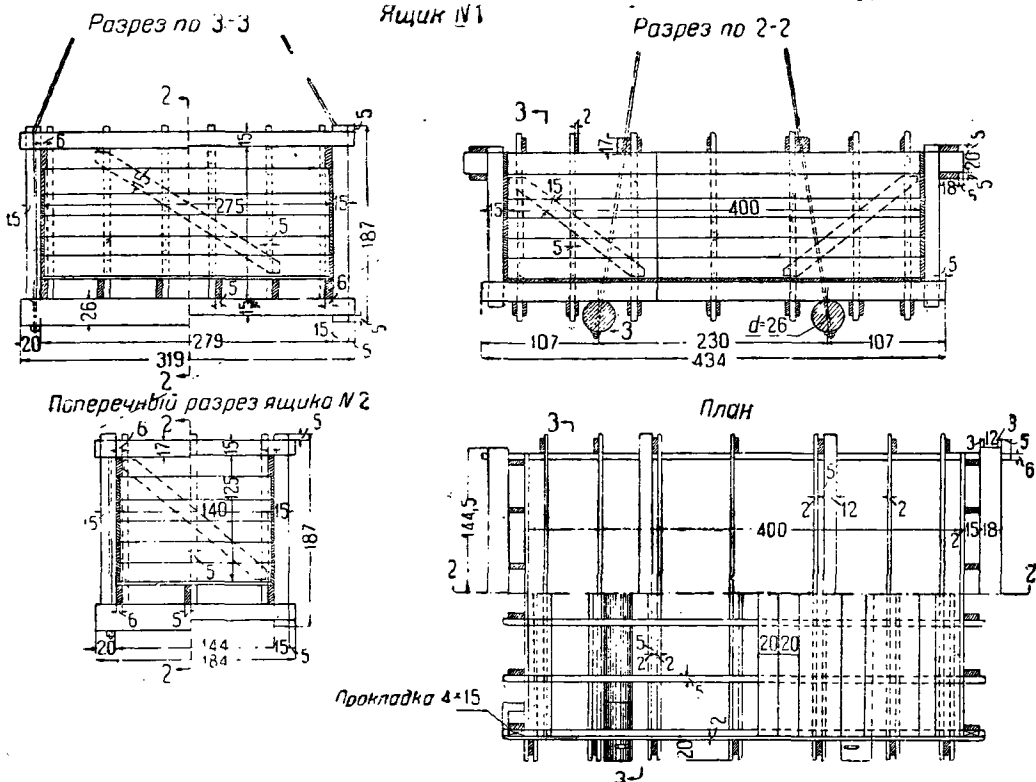
#### 4) Загрузочный материал

Ввиду сравнительно большого веса необходимой испытательной нагрузки в качестве загрузочного материала обычно используют материал, имеющийся на месте испытания.

Загрузочный материал должен удовлетворять следующим основным требованиям:



Фиг. 18. Общий вид установки для испытания одной фермы волновой нагрузкой



Фиг. 19. Чертеж ящика для водной нагрузки

Примечания: 1. Объем древесины на ящик № 1—2,13 м<sup>3</sup>. Металлических тяжей  $\varnothing 7/8$ —26 пог. м—79 кг на 1 ящик. Гвоздей  $\varnothing 5$  мм  $l$  = от 10 до 15 см—14 кг на 1 ящик.

2. 1) Продольный разрез 2—2 ящика № 2, как у ящика № 1. 2) Объем древесины на ящик № 2—1,41 м<sup>3</sup>



1) иметь постоянство объемного или штучного веса;

2) допускать постепенное нагружение минимальными порциями.

Песок и земля вследствие неопределенного объемного веса, меняющегося в широких пределах в зависимости от степени уплотнения при укладке, не могут быть рекомендованы.

Крупный гравий имеет более постоянный объемный вес и вполне пригоден для загрузки.

Объемный вес сыпучих тел определяется путем взвешивания проб известного объема не менее  $0,25 \text{ м}^3$ <sup>1</sup>. Для получения средних данных пробы берутся из разных мест штабеля.

Хорошим материалом для нагрузки служат кирпич или другой штучный материал стандартной формы (например строительные камни), имеющие вполне определенный и постоянный вес, определяемый взвешиванием достаточно большого числа штук, например 100 шт. кирпича и т. п.

При нагружении конструкции непосредственно по проектному настилу сыпучие материалы насыпаются в отдельные отсеки, располагаемые с зазорами в 2—5 см между поперечными стенками, а штучные материалы укладываются с зазорами в 5—10 см через 0,75 — 1,25 м.

Для этой цели на крутых скатах к настилу пришиваются рейки, удерживающие штучный материал от сползания вниз и устраняющие передачу нагрузки на нижележащие ряды.

При подвешивании нагрузки снизу сыпучие материалы насыпаются в подвесные ящики (фиг. 16), а штучные материалы укладываются на платформы (фиг. 17).

Наилучшей нагрузкой является вода, имеющая постоянный точно определенный вес и допускающая плавное нагружение и быстрое удобное перемещение<sup>2</sup>. Применение воды в качестве нагрузки возможно при наличии водонепроницаемой ткани (например брезента), необходимой для закладки в ящики, как правило, подвешиваемые к испытываемой конструкции снизу (фиг. 18).

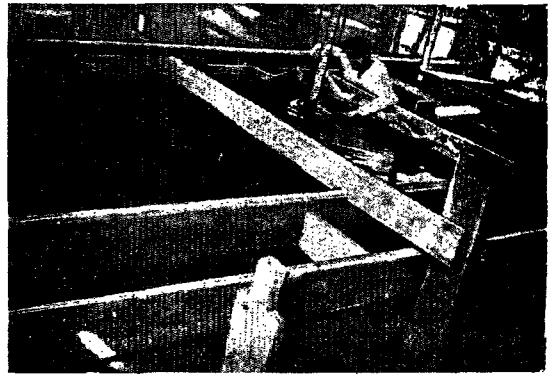
Для уменьшения деформаций стенки и дно ящика делаются ребристыми (фиг. 19). Расчет производится по жесткости на гидростатическое давление. Обычный материал для стенок и дна — нестроганный тес толщиной 19—25 мм. Водонепроницаемая ткань, закладываемая внутрь, завертывается в углах ящика и прикрепляется к верхней части его стенок (фиг. 20). Вода сливается сифоном при помощи жестких рукавов (фиг. 18).

Объем воды измеряется рейками, а более точно — специальным поплавковым прибором с роликом (фиг. 21), по окружности которого нанесены деления<sup>3</sup>. При помощи этого прибора изменение уровня воды в ящике может быть измерено с точностью до 1 мм.

### 5) Опоры

Способ опирания испытываемой конструкции должен точно соответствовать расчету. Так, балочные фермы должны иметь одну подвижную опору, осуществляемую обычно с помощью одного или двух стальных катков

диаметром 7,5 — 10 см, под которые подкладываются железные подкладки надлежащей толщины, проверяемой расчетом (фиг. 22).

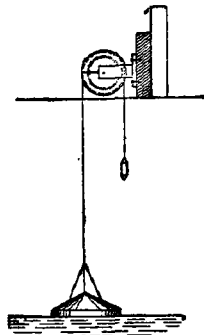


Фиг. 20. Вид подвешеного ящика, наполненного водой

При установке конструкции на опоры необходимо точно центрировать ее опорные площадки (фиг. 22), учитывая перемещение катка, равное половине величины отката опорного узла. При предполагаемой значительной откате опоры катки следует располагать с некоторым смещением наружу пролета в расчете на то, чтобы ось симметрии их совпала с опорной реакцией при наибольшей нагрузке.

Для обеспечения достаточной жесткости пути катания и лучшего распределения давления на опору под нижнюю подкладку следует подкладывать отрезки рельсов или другого профильного железа, располагаемая их вдоль пролета фермы.

Конструкция опоры должна обеспечивать горизонтальность пути катания во время нагружения фермы, так как от этого и значительной степени зависит сопротивление опоры откату. Горизонтальность пути катания вывернется по уровню. При назначении размеров основания опор следует иметь в виду уменьшение осадок во время испытания под наибольшей нагрузкой.



Фиг. 21. Схема поплавкового прибора

### 6) Опорные рамы

Неотъемлемой и обязательной частью испытательной установки являются опорные рамы (фиг. 23), достаточно солидные и жесткие, служащие для поддержания испытываемых конструкций снизу при появлении крупных деформаций и при разрушении.

Опорные рамы позволяют остановить процесс разрушения на одной из его начальных стадий и благодаря этому правильно оценить причину разрушения. Кроме того опорные рамы являются обязательной мерой техники безопасности.

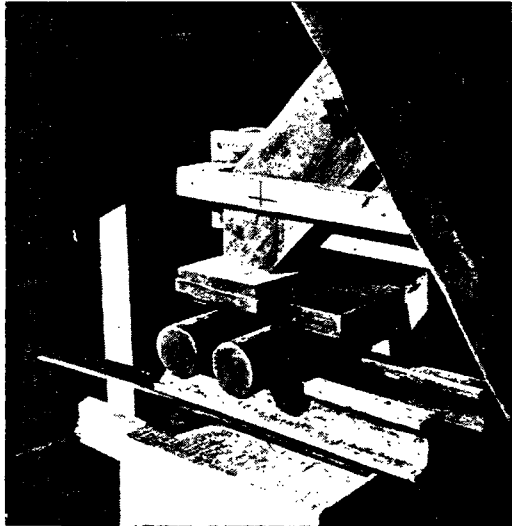
Нагрузка от конструкции при ее осадке должна передаваться непосредственно в торцы стоек опорных рам, через подкосы или насадки минимального пролета.

<sup>1</sup> См. ТУ и Н § 357.

<sup>2</sup> Загрузка водой производится по методу, разработанному сектором испытаний ЦНИПС.

<sup>3</sup> Применяется сектором испытаний ЦНИПС.

Опорные рамы ставятся в пролете между платформами или ящиками в количестве 2-5 шт. в зависимости от системы конструкции и величины



Фиг. 22. Подпоясная опора

пролета с таким расчетом, чтобы при всех возможных комбинациях разрушения конструкции была полностью поддержана.



Фиг. 23. Опорные рамы (связанные престоми) при испытании ферм фиг. 5

Стойки рам расширяются в жесткую систему и обычно используются для устройства подмостей, необходимых для осмотра и измерений на испытываемой конструкции. Между испытываемой конструкцией и массивами опорных рам оставляется зазор 15—30 см - в зависимости от величины ожидаемых прогибов с учетом осадки опор. Величина свободного прозора, равного 4—5 см,

регулируется в процессе испытания парными клиньями.

При применении подвесных платформ (ящиков) принимаются меры к их поддержке, выкладываются шпальные клетки, от верха которых до низа главных балок, поддерживающих платформы (ящики), оставляются прозоры на 2—5 см меньше промежутков под клиньями на опорных рамах. Шпальные клетки позволяют разгрузить испытываемую ферму от веса грузовых платформ (ящиков) при осадке ее на опорные рамы.

## 4. Измерение деформаций

### 1) Общие деформации

При испытании плоских конструкций основными деформациями, подлежащими измерению, являются: 1) в балочных системах — вертикальные перемещения узловых точек и удлинение пролета, 2) в распорных системах — вертикальные и горизонтальные перемещения основных точек в плоскости конструкции. Кроме того в целях контроля обычно измеряются и боковые перемещения из плоскости испытываемой конструкции.

При испытании пространственных конструкций измерению подлежат проекции перемещений основных точек на оси прямоугольной системы координат. В некоторых случаях измеряются также углы поворотов в отдельных точках сооружения. В большинстве случаев величины общих деформаций, дополненные данными о местных деформациях<sup>1</sup>, позволяют получить ответ на все вопросы, перечисленные в п. 1.

Для измерения вертикальных смещений следует пользоваться нивелиром, обеспечивающим достаточную надежность результатов. Отсчеты производятся по вертикальным рейкам, неизменно прикрепленным в соответствующих точках испытываемой конструкции. Рейки изготовляются по возможности из воздушно-сухой древесины поперечного сечения примерно 3 × 6 см. На уровне горизонта инструмента к рейкам прикрепляются масштабные линейки, которыми могут служить например отрезки деревянного метра или клеенчатые нивелирные ленты, по которым и берутся отсчеты. Применение для этой цели бумаги, например миллиметровки, не рекомендуется ввиду коробления ее при поглощении атмосферной влаги.

Для отметки горизонта инструмента необходимо предусмотреть не менее двух-трех достаточно надежных реперов, устанавливаемых например на кирпичной стене соседнего здания, на хорошо врытом столбе и т. д. Репера должны охватывать крайние положения зрительной трубы (не менее чем на 90°) и по возможности в пределах отсчетов на испытываемой конструкции.

Для упрощения обработки результатов можно сохранить горизонт инструмента неизменным, оставляя нивелир на месте во все время испытания, но защитив его от атмосферных осадков.

При измерении вертикальных смещений обязательно измерение осадки опорных точек конструкции для введения соответствующих поправок при вычислении прогибов<sup>2</sup>.

Для измерения перемещений в отдельных точках могут быть применены прогибомеры пи-

<sup>1</sup> См. стр. 432.

<sup>2</sup> См. стр. 435.

дикаторного типа (Макимова и др.), а для непрерывной регистрации перемещений — самопишущие прищоммеры (Рашара, Стоцкани и т. п.).

достаточно точно учтены путем постановки контрольного прибора.

Ввиду того что осуществление всех указанных требований затруднительно, подобные приборы могут применяться лишь как вспомогательные, и показания их должны контролироваться инвентарем или другими оптическими приборами<sup>1</sup>.

Измерение горизонтальных перемещений производится различными методами в зависимости от расположения и числа исследуемых точек и направления их перемещений.

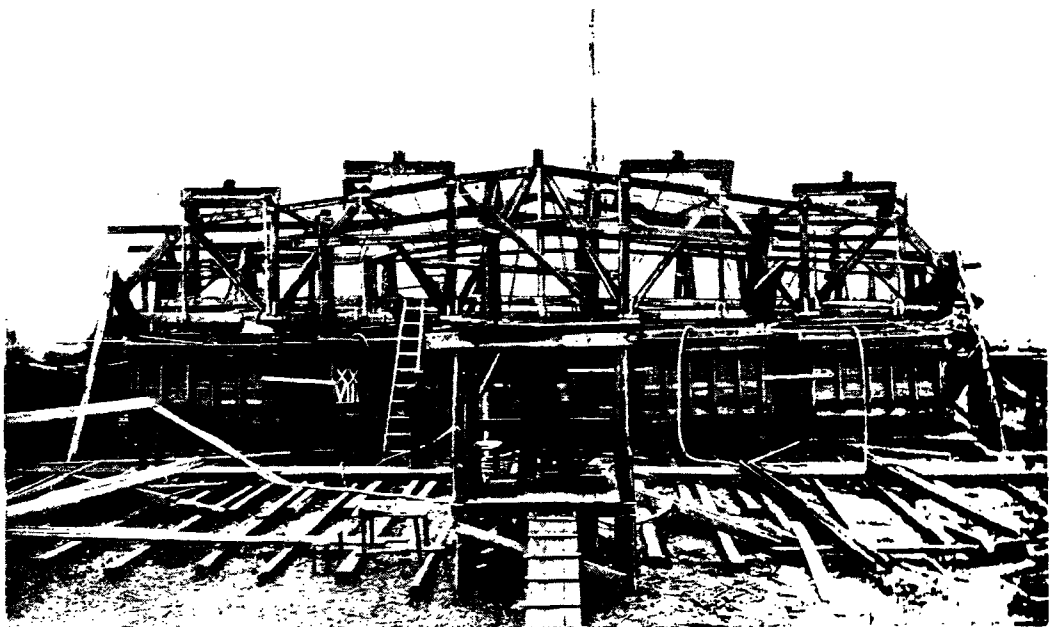
Удлинение пролета балочной фермы может быть определено по перемещениям обеих ее опорных узлов, измеряемым относительно столбов, врытых в грунт на достаточном расстоянии от опоры наружного пролета (вне зоны деформации грунта под опорой). Измерение производится горизонтальной рейкой, прибитой к опорному узлу. Способ этот весьма неточен и может применяться лишь при наличии плотного



Фиг. 24. Теодолит и горизонтальные рейки для контроля высоты фермы

Все эти приборы, соединенные с объектом измерения постоянной проволоочной связью, должны

грунта. Для этой цели могут быть также применены указанные выше прищоммеры с прово-



Фиг. 25. Стереодиаграмметрический метод измерения перемещений: вертикальное направление и горизонтальной фермы пролетом 20 м

иметь вполне неподвижную опору в пролете испытываемой конструкции.

Деформации связи (двигательная проволока, температурные удлинения проволоки) должны быть

учтены при помощи дополнительной связью, соединяющей опорные узлы.

<sup>1</sup> См. стр. 92.

Неизменяемость плоскости испытываемой фермы лучше всего проверяется при помощи теодолита. Положение визирной плоскости последнего, устанавливаемой параллельно плоскости фермы, сохраняется во время испытания неизменным и выверяется по двум реперам, охватывающим все отсчеты на ферме. Отсчеты производятся по горизонтальным рейкам, жестко прикрепленным на ребро к сжатому поясу нормально к плоскости фермы (фиг. 24).

Проверка плоскости конструкции другими неоптическими приборами, например отвесом, не рекомендуется.

При испытании распорных систем горизонтальные перемещения в плоскости конструкции наиболее просто измеряются стереофотограмметрическим методом<sup>1</sup> (фиг. 25). Этот метод состоит в том, что испытываемая конструкция фиксируется на фотопластинке. Съемка производится специальной камерой. Перемещения точек конструкции, отмеченных в натуре специальными марками, измеряются по их стереоскопическим параллелям на двух последовательных снимках. Измерения производятся по негативам (фиг. 25) на компараторе. При пользовании стереофотограмметрическим методом отпадает необходимость применения нивелира, так как смещения точек измеряются по двум осям координат.

При испытании сводчатых конструкций горизонтальные перемещения могут быть измерены теодолитами, устанавливаемыми под сводом таким образом, чтобы визирные плоскости их пересекали несколько рядов горизонтальных реек, укрепленных на разных уровнях.

Подобным же способом двумя или тремя теодолитами могут быть измерены и горизонтальные смещения свода-оболочки в поперечном направлении (фиг. 26).

Применение для указанной цели отвесов не дает вполне надежных результатов, так как перемещения точек измеряются по перемещениям отвесов, занимающих правильное положение лишь при абсолютном отсутствии движения окружающего воздуха.

Вообще для измерения перемещений точек пространственных конструкций могут быть применены безупречными лишь оптические методы, при которых неизменное положение инструмента и репера, относительно которого определяется положение точек, вполне обеспечено.

## 2) Местные деформации

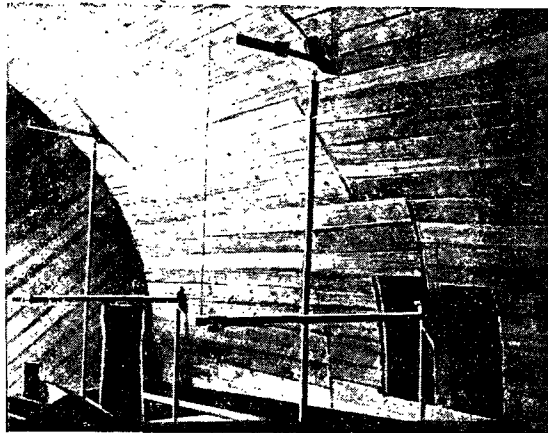
При испытании деревянных конструкций особое внимание должно быть уделено измерению смещений в соединениях. По способу измерения следует различать:

- а) смещения в стыках;
- б) смещения в узлах (в примыканиях элементов под углом);
- в) смещения в связях составных элементов;
- г) деформации элементов вблизи прикреплений;
- д) деформации в местах примыканий деревянных элементов к специальным металлическим частям (шпурные башмаки, ключевые шарниры, тяжи и т. п.).

Группа «в» объединяет также деформации в соединениях сплошных конструкций, а в группу

«г» входят деформации изгиба, например концов, растянутых раскосов, наружных накладок, растянутых стыков и т. д.

Следует иметь в виду, что правильное представление о работе конструкции может быть составлено лишь при условии наблюдения за деформациями всех основных ее соединений. Для этой цели рекомендуется пользоваться дис-



Фиг. 26. Горизонтальные и вертикальные рейки для измерения деформации свода-оболочки

ками, наносимыми перпендикулярно плоскости касания элементов, взаимное смещение которых должно быть измерено. Измерение смещений может производиться двояко. По первому способу наносится одна риска, смещения которой измеряются при каждом отсчете. По второму способу при каждом отсчете наносится отдельная риска, параллельная первой. Смещение элементов определяется как разность расстояний между первой риской и риской, проведенной при данном отсчете. Второй способ позволяет ускорить испытание, так как зафиксированное уже смещение может быть измерено потом в любое время.

Риски рекомендуется проводить в возможно большом числе сечений. Измерение производится только в наиболее ответственных соединениях, а также там, где смещения имеют заметную величину. В остальных местах риски служат лишь для контроля.

Риски наносятся по угольнику твердым остро зачищенным карандашом или бритвой непосредственно на гладко выстроганной поверхности элементов или на какой-либо подкладке, наклеиваемой казеиновым клеем (ватманская бумага — фиг. 27, целлулоид и т. д.). При нанесении рисок между элементами, имеющими уступ по высоте, последний заполняется специальной рейкой, пришиваемой к одному из элементов заподлицо с другим.

Риски должны наноситься на противоположных гранях элемента в одном поперечном сечении его. Для получения смещений элемента берется среднее арифметическое из смещений на обоих его гранях.

В отдельных точках смещения могут быть измерены более точно при помощи специальных приборов, например «мессур» и т. п. При этом необходимо иметь в виду, что зачастую значительную погрешность могут внести смещения в прикреплении самого прибора, вызываемые

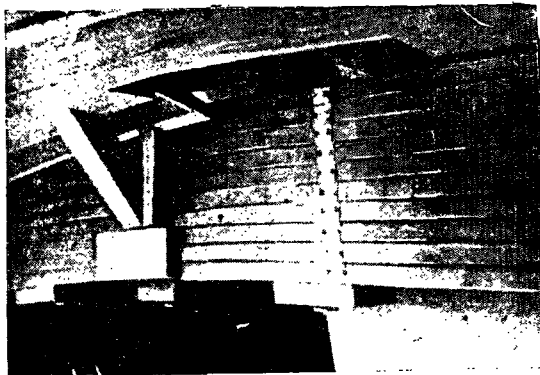
<sup>1</sup> Разработан сектором испытаний ЦНИПС.

Иванов Ю. М., Хитров Е. В., Стереофотограмметрический метод измерения деформаций в конструкциях и сооружениях, сектор испытаний ЦНИПС, отчет по теме 1933 г.

например усушкой, неплотностями и т. д. Известная погрешность получается также вследствие измерения смещения с некоторым плечом.

Применение указанных приборов весьма удобно для измерения деформаций группы «в», когда прибор устанавливается на соответствующую металлическую часть при помощи специальной струбцины.

Измерение напряжений в деревянных частях при обычных испытаниях на строительстве не является необходимым, так как вследствие влияния многих факторов величина их мало показательна для оценки работы всей конструкции в целом. Поэтому вопрос об измерении напряжений в древесине здесь не затрагивается как относящийся уже к области исследовательской работы.



Фиг. 27. Смещение досок при потере устойчивости составной арки (риски были нанесены на полосу ватмана)

При испытании смешанных конструкций может встретиться необходимость в измерении напряжений в металлических частях (затяжки, тяжки и т. д.). Для этой цели можно пользоваться экстензометрами Манэ-Рабю, Окхайшена и Гугенбергера. Для испытаний на строительстве может быть рекомендован последний тип, модель «В-спец»<sup>1</sup>.

## 5. Испытание статической нагрузки

### 1) Размер испытательной нагрузки

Размер испытательной нагрузки<sup>2</sup> определяется как разность между полной расчетной нагрузкой и суммарной нагрузкой от собственного веса конструкции, постоянной нагрузки и веса приспособлений для испытания (прогонов, распределительных балок и т. п.). Вес грузовых платформ, как правило, включается в величину испытательной нагрузки, для чего конструкция разгружается от них перед началом испытания.

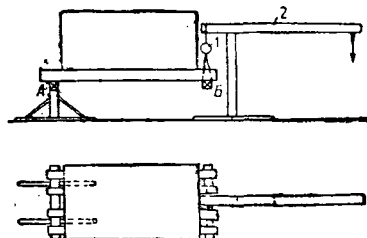
Вес приспособлений определяется по их действительным размерам. Для уточнения веса платформ или ящиков рекомендуется пользоваться десятичными весами, при помощи которых может быть определено давление от веса платформы на тяжки. Для этой же цели удобны динамометры.

<sup>1</sup> Илландер Ю. А., Телешева Л. А., Исследование работы тензомера Гугенбергера, сектор испытаний ЦНИИС, отчет по теме 1932 г.

<sup>2</sup> Полный вес нагрузки, которая может быть нагружена на конструкцию и в последующем снята для наблюдения возвращения деформаций.

Наиболее простая схема взвешивания заключается в определении величины опорных реакций платформы или ящика в двух точках А и Б (фиг. 28). Для этого достаточно иметь один динамометр, который последовательно меняется местами с опорой А.

Вес загрузочного материала для контроля изменения его вследствие изменения влажности определяется дважды — перед началом и после окончания испытания.



Фиг. 28. Схема взвешивания ящика при помощи динамометра

При измерении объема сыпучих материалов и воды во время нагружения (см. ниже) должна быть учтена деформация включающих его устройств (дно и стенки ящиков и т. д.).

### 2) Порядок нагружения

Для построения зависимости деформаций от нагрузки последняя должна быть разбита на части, которыми конструкция загружается в определенном порядке — ступенями. Рекомендуется уменьшать число различных комбинаций нагрузки за счет увеличения числа ступеней, что позволяет более детально проследить изменение деформаций конструкции в функции нагрузки и времени. Весьма желательны повторные циклы нагружения, легко осуществимые при пользовании например водяной нагрузкой.

Вопрос о том, какая комбинация нагрузки должна быть принята при испытании до разрушения, в каждом случае решается особо. Следует стремиться воспроизвести схемы нагружения, реальные в условиях эксплуатации конструкции.

Нагрузку каждой ступени удобнее всего выражать в долях полной расчетной нагрузки (р. н.). Так например, если принять, что собственный вес фермы с весом прогонов составляет около 10—15% р. н., то нагрузка первой ступени (весом платформ) дает примерно около 25% р. н. Нагрузка следующих ступеней — соответственно 50% р. н. (что примерно соответствует постоянной нагрузке), затем 75% и наконец 100% р. н.

Под полной расчетной нагрузкой конструкция выдерживается в течение не менее трех суток<sup>3</sup>, после чего может быть начата разгрузка.

Для наблюдения за работой конструкции при разгрузке последнюю рекомендуется также производить ступенями, что легче всего осуществить при штучном материале (ширшич, стандартные камни) или при водяной нагрузке.

При испытании до разрушения ступени нагружения могут быть введены и ввиду большого их числа. В этом случае нагрузка первой ступени после опускания платформ должна составлять 50% р. н., следующей — 400% р. н. Под этой на-

<sup>3</sup> См. дополнение к ТУ и П § 360, изд. 1934 г.

грузкой конструкция выдерживается в течение трех суток.

Нагрузка каждой следующей ступени добавляется только после затухания деформаций (см. ниже). Дальнейшее нагружение может производиться например следующими ступенями: 150, 200, 225, 250, 275% р. и. и т. д. После двойной расчетной нагрузки ступени нагрузки для более точного определения величины разрушающей нагрузки уменьшаются.

Загружение штучным материалом ведется таким образом, чтобы на каждую площадку штучный материал укладывался в строго определенном порядке.

Загружение сыпучим материалом ведется слоями до уровней, заранее отмеченных на стенках ящика на вертикальных рейках. Рейки следует располагать в четырех углах и по середине длинных сторон ящика. Поверхность слоя проверяется рейкой, прикладываемой сверху на ребро.

Загружение непосредственно по рабочему настилу производится по всей его ширине (поперек ферм) одновременно. Направление загрузки по полету определяется программой испытания. Образование промежуточных комбинаций нагрузки, не предусмотренных расчетом конструкции, во избежание возникновения в ее элементах усилий, которые не могут иметь места при эксплуатации сооружения, не допускается.

Принятый порядок загрузки должен быть выдержан при всех ступенях данной комбинации нагрузки.

Для устранения динамических воздействий нагружение должно производиться без толчков. Для упорядочения процесса загрузки рекомендуется расчленив его на отдельные операции: 1) наладку материалов на носилах или козлы, 2) подносу, 3) разгрузку и 4) раскладку на настиле, распределив их между работниками в соответствии с трудоемкостью работы.

Загружение каждой ступени должно производиться без перерывов. Между промежуточными ступенями делаются только короткие перерывы, необходимые для отсчетов по приборам. Более длительные перерывы, как правило, рекомендуется совмещать с предположенным по программе выдерживанием нагрузки.

### 3) Производство измерений

Отсчеты по измерительным приборам производятся тотчас по окончании загрузки каждой ступени.

Во время более длительных перерывов между ступенями нагружения для оценки влияния времени на деформации (упругое последствие) отсчеты делаются тотчас по окончании загрузки и непосредственно перед загрузкой следующей ступени.

Вообще на влияние фактора времени должно быть обращено особое внимание. Производство отсчетов должно занимать минимальный промежуток времени, исходя из чего и назначается число обслуживающих работников.

Для контроля измерений рекомендуется производить повторные отсчеты в характерных точках — в начале одной серии измерений (данного номера отсчета) и по окончании ее. Таким образом может быть выяснена величина приращения деформаций за время производства измерений. Моменты начала и окончания отсчетов, начала и окончания за-

гружения должны регистрироваться по часам с точностью до 1 мин.

Во время выдерживания нагрузки отсчеты производятся по возможности через равные промежутки времени (через 6—12 час.).

После снятия испытательной нагрузки наблюдение по приборам производится в продолжение двух суток, также по возможности через равные промежутки времени (через 12—24 часа).

Для оценки влияния колебаний температуры на деформации испытываемой конструкции и на показания измерительных приборов необходимо иметь не менее двух термометров (один контрольный), отсчеты по которым должны делаться одновременно с отсчетами по приборам. Желательно иметь термограф, непрерывно регистрирующий изменение температуры, что важно с точки зрения явлений тепловой инерции.

Весьма желательно измерение влажности атмосферного воздуха. Для этой цели следует иметь два психрометра, а для непрерывной регистрации — гигрограф.

Для устранения резких колебаний влажности в элементах испытываемой конструкции последние должны быть укрыты от действия атмосферных осадков, особенно места соединений.

Загрузочный материал для обеспечения неизменного веса должен быть также укрыт от действия атмосферных осадков как при укладке его во время нагружения, так и в штабелях.

В летнее время следует по возможности защищать, испытываемую конструкцию от действия прямых солнечных лучей.

## 6. Осмотр во время и после испытания

### 1) Осмотр во время испытания

Осмотр конструкции во время испытания должен производиться по загрузке основных ступеней испытательной нагрузки, а именно: полной расчетной, полудторной, двойной и так далее, а кроме того при появлении признаков неудовлетворительной работы, нарастания деформаций, местных разрушений и т. д.

При осмотре во время испытания должны тщательно проверяться все места, отмеченные при предварительном осмотре (см. выше раздел 2), соединения, показавшие крупные деформации, появившиеся новые трещины, щели, неплотности и т. п.

Указанные наблюдения над нагруженной конструкцией дают возможность составить более полное представление о ее работе, так как после разгрузки многие деформации становятся незаметными или совершенно исчезают.

Для фиксации подобных явлений весьма желательно применение фотографии.

### 2) Осмотр после испытания

Осмотр после испытания имеет целью наблюдение главным образом остаточных деформаций и различных повреждений, сохранившихся и после разгрузки конструкции.

Осмотр конструкции после разрушения должен установить места и характер разрушений, первичные и вторичные деформации, обнаружить недостатки материала или выполнения и в результате дать необходимые указания для установления основной причины разрушения.

Осмотр необходимо произвести тотчас по разрушении конструкции и во всяком случае до на-

чала каких бы то ни было работ по разборке. Наиболее характерные места должны быть сфотографированы.

Немедленно после осмотра для определения влажности и механических испытаний древесины отбираются образцы в непосредственной близости от мест разрушения, а также из всех ответственных элементов. В разрушенных элементах рекомендуется определять полойную влажность<sup>1</sup>.

Для более правильной оценки действительной влажности древесины рекомендуется тотчас же на месте определить первоначальный вес образцов. При достаточной величине последних взвешивание может быть сделано на аптекарских весах.

Детальный обмер, зарисовка и изучение разрушенных элементов производится по вылипливанию их из конструкции и после осторожной разборки. Детали деформаций также должны быть сфотографированы.

При разборке разрушенной конструкции должны быть по возможности восполнены все пробелы предварительного осмотра, в особенности касающиеся качества выполнения соединений; могут быть также проверены размеры и расстановка соединительных частей в скрытых местах — в промежуточных частях многосоставных элементов и т. д.

Одновременно могут быть установлены форма и величина остаточных деформаций в наиболее напряженных, но еще не разрушенных частях соединений. С этой целью например соединения на гвоздях вылипливаются и раскалываются по линии гвоздевого забоя. Таким же образом путем раскола может быть обнаружена внутренняя поверхность например нагельных гнезд и непосредственно установлено качество выполнения соединений.

## 7. Обработка результатов измерений

Все данные измерений, полученные во время испытания, должны быть приведены к форме, удобной для обозрения при составлении выводов. Указанная работа в известной части должна производиться параллельно с испытанием ввиду необходимости следить за основными деформациями испытываемой конструкции во время хода испытания.

К такого рода данным относятся:

1) основные общие деформации — вертикальные прогибы, удлинение пролета, горизонтальные смещения в распорных и пространственных системах, а также отсчеты по контрольному теодолиту (в плоских системах);

2) смещения в основных соединениях наиболее ответственных элементов (растянутый пояс, затяжка и т. д.).

Обработка нивелирного журнала заключается в вычислении превышений по отношению к основному реперу и введении поправок на осадку опор.

Для вычисления последних необходимо знать точные расстояния между рейками.

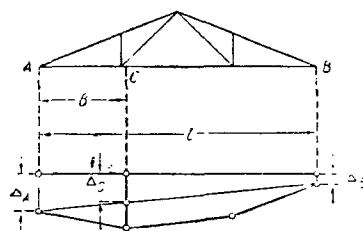
Поправки могут быть определены аналитически по формуле:

$$\Delta_C = \frac{\Delta_A(l-b) - \Delta_B b}{l},$$

где  $\Delta_C$  — поправка для точки  $C$ ,  $\Delta_A$  и  $\Delta_B$  — осадки опор (фиг. 29).

Графически величина поправки получается в виде отрезков, отсекаемых на соответствующих вертикальных прямых замыкающей прямой, которая строится для каждого отсчета по известной осадке опор.

Во введении поправок полученные смещения представляются в виде диаграммы по проекту испытываемой конструкции с отдельными кривыми для каждого отсчета.



Фиг. 29. Определение поправки на осадку опор

На график наносится также кривые зависимости перемещений от нагрузки и времени для отдельных характерных точек. Кривые смещений в функции времени необходимы для наглядного представления процесса затухания деформаций при выдерживании нагрузки. Построение указанных кривых для небольшого числа наиболее характерных точек конструкции следует вести во время испытания, добавляя точки кривой по мере производства измерений. Смещения в соединениях для большей наглядности также желательно представлять в форме кривых.

Обработка теодолитного журнала сводится к вычислению разностей отсчетов и введению поправок на репера. Последние определяются аналогично поправкам на осадку опор в нивелирном журнале (см. выше).

## 8. Оценка работы конструкций по результатам испытаний

### 1) Испытание расчетной нагрузкой

Ответ на основной вопрос, не является ли данная конструкция дефектной, может быть с известной вероятностью получен на основании наблюдений за деформированием конструкции при ее выдерживании под расчетной нагрузкой.

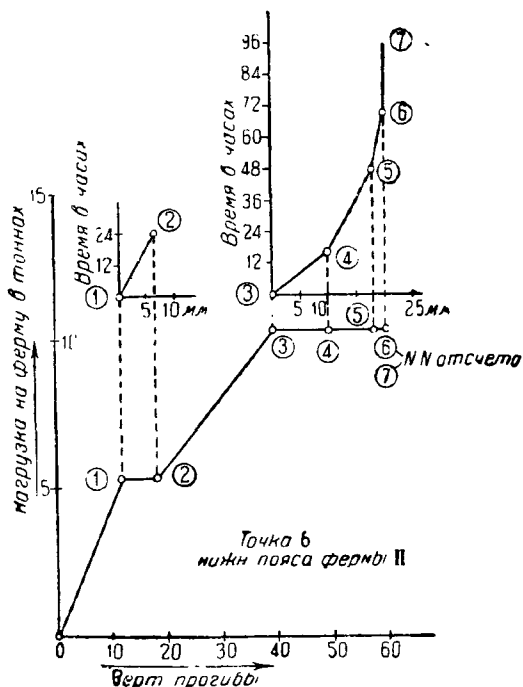
При работе конструкции под нагрузкой возникают два вида деформаций: 1) местные деформации в отдельных элементах и соединениях и 2) общие деформации, проявляющиеся в виде перемещений отдельных точек конструкции, как суммированный результат местных деформаций.

Для разрешения поставленного вопроса должны быть использованы общие деформации, которые характеризуют работу всей конструкции в целом.

Характер развития деформаций при выдерживании нагрузки устанавливается по соответствующим кривым зависимостей в функции времени. Ясно выраженный процесс затухания (фиг. 30) указывает на удовлетворительное состояние соединений и дает основание рассчитывать на достаточную прочность в испытываемой конструкции. Неполное затухание деформаций, сильно растянута по времени, или увеличение приращений показывает на неудовлетворительное состояние конструкции в целом или в отдельных ее частях.

<sup>1</sup> Селюгин И. С., Методика испытаний сушит для дерева, М. 1932 г., стр. 24.

В дополнение к оценке конструкции по кривым затухания служит сравнительный анализ общих и местных деформаций при различных ступенях загрузки, в основном позволяющий судить о равномерности работы как всей конструкции в целом, так и отдельных ее частей. Такой анализ имеет особенное значение для нахождения причин неудовлетворительной работы отдельных частей конструкции в случае недостаточной жесткости ее, обнаруженной по кривым затухания.



Фиг. 30. График прогибов в середине пролета фермы

Равномерность работы конструкции может быть выявлена из сравнения величины смещений в одинаковых соединениях при равной нагрузке, например в симметричных стыках и узлах и т. д., и по линии прогиба при различных ступенях нагружения. Отдельные резкие выступы и изломы, нарушающие плавное очертание линии прогиба, указывают на слабые места или неправильную работу того или иного элемента и нередко могут вскрыть существенные недостатки конструкции.

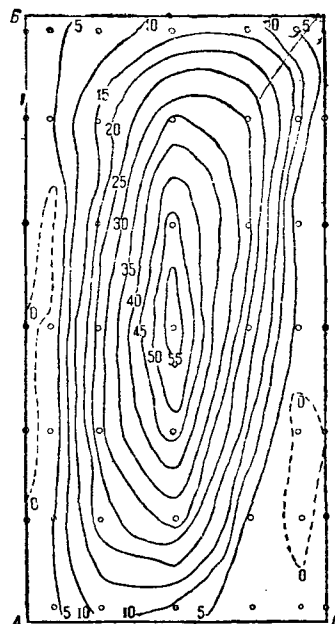
При сплошных пространственных конструкциях может быть рекомендовано построение изолиний для перемещений определенного направления, отнесенных к какой-либо проекции исследуемой поверхности или к ее развертке.

Такого рода диаграммы весьма наглядно представляют распределение деформаций по исследуемой поверхности и тенденции в изменении ее формы. Для примера здесь приведена диаграмма изопрогибов деревянного свода с жесткими торцевыми стенками (фиг. 31). Несимметричная деформация свода, отчетливо видная на диаграмме, является результатом влияния косого настила, набитого по своду в один слой под углом  $45^\circ$  к продольной оси (по направлению от А к В).

Работа конструкции до известной степени может также характеризоваться и абсолютной величиной деформаций, которая зависит не только

от действующего напряжения, влажности и механических свойств древесины, но также и от качества выполнения конструкции.

Действительно, наибольшая величина действующих в соединении напряжений определяется не только нагрузкой, находящейся на конструкции, но еще и тем, насколько равномерно работают отдельные его части, например отдельные нагели и т. д. При неравномерном распределении усилий наиболее нагруженный нагель даст более значительную деформацию, определяющую собой деформацию всего соединения. Таким образом абсолютная величина деформации может служить в известной мере для оценки равномерности работы соединения, а следовательно и качества его выполнения. Последнее особенно сказывается на величине остаточных деформаций.



Фиг. 31. План свода с нанесенными изолиниями вертикальных перемещений

Ориентировочно могут быть указаны цифры нормальной деформации при расчетном усилии в полусухой древесине:

- » для железных нагелей — около 0,5—1,0 мм,
- » гвоздей — около 1,0—1,5 мм,
- » кольцевой шпонки — около 1,0—1,5 мм.

Величина наибольшего прогиба ферм под расчетной нагрузкой лишь в ограниченной степени может служить критерием состояния конструкции, и то лишь при условии сравнения с теоретической величиной.

Однако для ферм определяемого типа и конструкции на основе приведенных испытаний могут быть указаны ориентировочные цифры относительных прогибов. Так например, для сегментных ферм ( $h = \frac{1}{6} - \frac{1}{7} l$ ) из полусухой древесины пролетом 25—35 м наибольший прогиб под расчетной нагрузкой составляет в среднем около  $\frac{1}{600}$  пролета при величине остаточного прогиба около 50%; для балочных ферм ( $h = \frac{1}{6} l$ ) на кольцевых шпонках — около  $\frac{1}{500}$  пролета при остаточном прогибе около 50%.



Необходимо учитывать, что влажность древесины оказывает большое влияние на деформации.

В соответствии с изложенными соображениями из сопоставления всех полученных при испытании данных осмотра делается общая оценка работы конструкции<sup>1</sup> с выделением наиболее слабых мест и указываются меры к их исправлению или усилению.

В заключение даются указания по эксплуатации конструкций с ориентировкой на поддержание исправного состояния указанных слабых мест, а также наиболее ответственных частей

## 2) Испытание до разрушения

При этих испытаниях должны быть выяснены влияние возрастания нагрузки на расстройство соединений, появление дополнительных деформаций, ухудшающих работу конструкции, должны быть выявлены роль пластичности древесины, характер и быстрота развития деформаций разрушения и т. п. Особое внимание должно быть уделено сравнительному изучению работы конструкции при ее выдерживании под последовательно увеличивающимися ступенями нагрузки.

Величина коэффициента запаса для данной испытанной конструкции определяется в виде отношения разрушающей нагрузки к реальной расчетной (полной). При определении расчетной нагрузки должны быть учтены: 1) действительная влажность древесины (в величине поправочного коэффициента к допускаемому напряжению) и 2) снятые с натуры геометрические размеры конструкции и ее рабочих частей.

При определении величины разрушающей нагрузки должны быть учтены: 1) собственный вес конструкции при данной влажности древесины, 2) вес прогонов, распределительных балок и других вспомогательных частей, включая элементы крыши или подвесного потолка в случае их наличия, 3) вес подвесных платформ или ящиков, 4) вес вагрузочного материала.

<sup>1</sup> См. ТУ и И § 368.

При оценке величины запаса прочности следует иметь в виду возможность влияния на окончательный результат условий испытаний: недостаточной устойчивости при испытании плоских конструкций (определяется величиной боковых смещений по журналу контрольного геодезита), уменьшенного усилия в нижнем поясе или затяжке при данных условиях опирания конструкции и т. п., если для устранения указанных влияний не были приняты достаточные меры при испытании.

Достаточное внимание должно быть также уделено оценке влияния недостатков материала и выполнения, которые нередко имеют решающее значение.

В результате анализа работы конструкции делается оценка ее надежности, указываются наиболее слабые места и методы их усиления, а также и возможные улучшения в конструкции с целью повышения общей ее надежности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н и л е н д е р Ю. А., Основы методики испытания деревянных конструкций, доклад на I Всесоюзной конференции по деревянным конструкциям в Москве, 1931 г.
2. И в а н о в Ю. М., Действительная работа деревянных конструкций по результатам опытных исследований, доклад на I Всесоюзной конференции по деревянным конструкциям в Москве, 1931 г.
3. И в а н о в Ю. М., Причины недостаточного запаса прочности деревянных конструкций, «Строит. пром.» № 8, 1931 г., стр. 412 (эта статья помещена также в приложениях к книге Керстен «Современные деревянные конструкции, 1932 г., стр. 396—407).
4. Н и л е н д е р Ю. А., Испытание сооружений, справочник для инженера-проектировщика Промстройпроект, т. II, 1934 г.
5. И в а н о в Ю. М., Испытание деревянных ферм, статья в сборнике «Конструктивные детали зданий», изд. Военно-строит. упр. РККА, 1934 г., 2-е изд., т. IV, серия 12, стр. 351—359.
6. И в а н о в Ю. М. и Х и т р о в Е. В., Устаповка для испытания опытных ферм водяной нагрузкой, сектор испытаний ЦНИПС, отчет по теме 1933 г.
7. I v a n o v G. M. et K i t r o v E. V., Méthode stéréophotogrammétrique pour mesurer les déformations des bâtiments et constructions, «Intern. Archiv für Photogrammetrie», Bd. VIII, N. 1, 1934, S. 44.

## IV. ПРОЕКТ ОСТ „ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ“<sup>1</sup>

### 1. Область применения норм

§ 1. Настоящие нормы распространяются на деревянные конструкции всех промышленных и гражданских сооружений.

### 2. Общие указания

§ 2. Расчет деревянных конструкций на прочность, жесткость и устойчивость, а также конструирование их должны производиться согласно указаниям «Технических условий проектирования деревянных конструкций» (ТУ проектирования ДК).

Величины расчетных нагрузок, подразделение их на основные и дополнительные, а также динамические коэффициенты устанавливаются согласно ОСТ 45.44—45.46 и ТУ проектирования ДК.

§ 3. Применение деревянных конструкций в помещениях с высокой температурой допускается лишь при условии, что установившаяся температура в элементах конструкции не превышает 50° С.

### 3. Материалы

§ 4. К применению в деревянных конструкциях допускается пиленный и круглый лесоматериал удовлетворяющий требованиям в отношении сортамента и качества древесины (ОСТ 45.44—45.46), в отношении механической прочности — § 6 настоящих норм.

Для основных элементов конструкций должен производиться дополнительный пиловый отбор в соответствии с указанными Техническими условиями возведения деревянных конструкций.

§ 5. По влажности, отнесенной к сухой древесине, в абсолютно сухом состоянии, лесоматериал подразделяется на: 1) воздушно-сухой (с влажностью от 10 до 18%), 2) полусухой (с влажностью от 18 до 23%) и 3) сырой (с влажностью свыше 23%).

Лесоматериал, предназначенный для деревянных конструкций, должен быть, как правило,

<sup>1</sup> Проект проекта ОСТ «Деревянные конструкции» подготовлен в процессе работы редакции, в которой он был принят в качестве основного нормативного документа Главстройпрома НКПС, а также рассмотрен в Научно-техническом совете ЦНИИ.

воздушно-сухим; исключение представляют части конструкций, находящиеся в воде, для которых рекомендуется сырой лесоматериал.

§ 6. Временное сопротивление древесины сосны и дуба с влажностью в 15% должно быть не менее величин, указанных в табл. 1.

Таблица 1

| Порода          | Временное сопротивление в кг/см <sup>2</sup> |        |                          |
|-----------------|--|--------|--------------------------|
|                 | смятию                                       | изгибу | скалыванию вдоль волокон |
| Сосна . . . . . | 350  | 600    | 60                       |
| Дуб . . . . .   | 450  | 800    | 90                       |

§ 7. Прочие строительные материалы, применяемые в деревянных конструкциях, должны удовлетворять ОСТ на данный материал.

#### 4. Допускаемые напряжения

##### 1) Основные допускаемые напряжения

§ 8. Основные допускаемые напряжения для воздушно-сухих сосны и дуба в конструкциях, рассчитанных с учетом только основных нагрузок и возводимых: в сооружениях 2-го класса из лесоматериала отобранного сорта (марки 0), в сооружениях 3-го класса из лесоматериала первого сорта (марки 1), в сооружениях 4-го класса из материала второго сорта (марки 2) приведены в табл. 2.

П р и м е ч а н и я: 1. Данные табл. 1 соответствуют лабораторным испытаниям малых образцов согласно ОСТ.  
2. Временное сопротивление древесины с иной влажностью ( $n\% \leq 23\%$ ) приводится к влажности 15% по формуле:

$$(\sigma_B)_{15} = (\sigma_B)_n [1 + k_{в,л}(n - 15)],$$

где  $(\sigma_B)_{15}$  — приведенное временное сопротивление;

$(\sigma_B)_n$  — временное сопротивление образца с влажностью  $n\%$ ;

$k_{в,л}$  — коэффициент влажности, принимаемый равным для хвойных пород — 0,04, для лиственных пород — 0,03:

Таблица 2

| Род напряжения   | Условное обозначение | Допускаемое напряжение в кг/см <sup>2</sup> |             | Пояснение   |
|--|----------------------|---|-------------|---|
|  |                      | для сосны                                   | для дуба    |   |
| 1. Растяжение вдоль волокон . . . . .  | $[\sigma_+]$         | 100   | 130         | При наличии в элементе ослаблений вводятся поправочные коэффициенты, см. примечание 1 |
| 2. Сжатие и смятие вдоль волокон . . . . .   | $[\sigma_-]$         | 100   | 130         | См. примечание 2  |
| 3. Поперечный изгиб . . . . .  | $[\sigma_{\perp}]$   | 100   | 130         |   |
| 4. Смятие поперек волокон:   |                      |   |             |   |
| а) по всей длине элементов . . . . .   | $[\sigma_{\perp}]$   | 15  | 30          |   |
| б) по площадке длиной вдоль волокон $\geq 10$ см, а также в шкеловых врубках . . . . . | $[\sigma_{\perp}]$   | 20  | 40          | При длине свободного конца элемента не менее его толщины, длины смятия и 10 см        |
| в) по площадке длиной $< 10$ см, а также в лобовых врубках . . . . .                   | $[\sigma_{\perp}]$   | 25  | 50          | То же   |
| 5. Смятие силой, направленной под углом $\alpha$ к волокнам . . . . .                  | $[\sigma_{\alpha}]$  | От 15 до 100                                | От 0 до 130 | В зависимости от угла и рода смятия, см. примечание 3                                 |
| 6. Скалывание вдоль волокон . . . . .  | $[\tau]_{\parallel}$ | От 6  | От 10       | В зависимости от размера врубки, см. примечание 4                                     |
| 7. Скалывание поперек волокон . . . . .  | $[\tau]_{\perp}$     | От 3 до 6                                   | От 5 до 10  |   |
| 8. Скалывание силой, направленной под углом $\alpha$ к волокнам . . . . .              | $[\tau]_{\alpha}$    | 3 * 12                                      | 5 * 10      | В зависимости от угла и размеров врубки, см. примечания 3 и 4                         |
| 9. Перерезывание волокон . . . . .   | $[\tau]_{\pm}$       | 45  | 60          |   |
| 10. Кручение . . . . .   | $[\tau]_{кр}$        | 25  | 35          |   |

П р и м е ч а н и я: 1. При наличии в центрально или внецентренно растянутых элементах ослаблений помимо учета ослабления сечения и изгибающего момента допускаемые напряжения снижаются умножением на коэффициенты:

а) при ослаблении нагелями или зубчато-нольцевыми шпонками более 10% всего поперечного сечения 0,9;

б) при ослаблении врубками (врезками) досок по пласти и брусев:

симметричном . . . . . 0,8;

несимметричном . . . . . 0,7;

в) при ослаблении досок по кромке 0,6.

2. При учете неравномерного распределения напряжений смятия и скалывания допускаемое краевое (бортовое) напряжение повышается на 50%.

3. Допускаемые напряжения смятия и скалывания силой, направленной к волокнам под углом  $\alpha$ , вычисляются по формулам:

$$[\sigma]_{\alpha} = \frac{[\sigma_{\perp}]}{1 + \left( \frac{[\sigma]_{\parallel}}{[\sigma]_{\perp}} - 1 \right) \sin^2 \alpha} \quad \alpha \quad [\tau]_{\alpha} = \frac{[\tau]_{\parallel}}{1 + \left( \frac{[\tau]_{\parallel}}{[\tau]_{\perp}} - 1 \right) \sin^2 \alpha},$$

где величины имеют значения, указанные в пп. 2, 4, 6 и 7.

4. Допускаемое среднее приведенное напряжение скалывания находится путем умножения высшего предела для сосны 12 кг/см<sup>2</sup>, для дуба 20 кг/см<sup>2</sup> на:

$$k = \frac{h}{l_{ск}} + 0,1$$

Здесь  $h$  — размер неослабленного сечения элемента в направлении врезки (нормально к плоскости скалывания);  
 $l_{ск}$  — длина плоскости скалывания в направлении скалывания.

§ 9. При расчете сжатых стержней допускаемое напряжение, приведенное в п. 2 табл. 2, снижается умножением на коэффициент  $\varphi$  продольного изгиба. Значения коэффициента  $\varphi$  в зависимости от наименьшей гибкости  $\lambda = \frac{l}{r}$  ( $l$  — расчетная длина,  $r$  — радиус инерции поперечного сечения стержня) определяются по формулам:

при  $\lambda \leq 75$ :

$$\varphi = 1 - 0,8 \left( \frac{\lambda}{100} \right)^2;$$

при  $\lambda > 75$ :

$$\varphi = \frac{3100}{\lambda^2}$$

При расчете составных сжатых стержней должна учитываться податливость связей, соединяющих отдельные элементы стержня, согласно ТУ проектирования ДК.

§ 10. Для гнутых элементов допускаемые напряжения, приведенные в табл. 2, снижаются умножением на коэффициенты табл. 3 в зависимости от отношения  $\frac{R}{h}$  ( $R$  — радиус кривизны гнутого элемента,  $h$  — размер его сечения в направлении радиуса).

Таблица 3

| $\frac{R}{h}$  | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 250 | 300 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Сжатие и изгиб | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Растяжение     | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |

§ 11. Допускаемые напряжения для металлических частей, применяемых в деревянных конструкциях, назначаются согласно ОСТ на стальные конструкции.

При расчете двойных и тройных тяжей и болтов допускаемые напряжения снижаются на 20%.

**2) Поправочные коэффициенты к основным допускаемым напряжениям**

§ 12. Если в расчете кроме основных нагрузок учитываются также дополнительные или монтажные нагрузки, все допускаемые напряжения повышаются на 20%.

§ 13. Для деревянных конструкций, изготовляемых на заводе, при надлежащих отборе лесоматериала и качестве изготовления разрешается повышать допускаемые напряжения на 15%.

§ 14. При отсутствии принятого в § 7 соответствия между сортом лесоматериала и классом сооружения допускаемые напряжения, приведенные в табл. 2, умножаются на коэффициенты табл. 4.

Таблица 4

| Класс сооружения  | Сорт лесоматериала |        |        |
|---|--------------------|--------|--------|
|   | отборный           | первый | второй |
| 1-го класса   | 1,0                | 0,8    | —      |
| 2-го класса   | 1,2                | 1,0    | 0,8    |
| 3-го класса и временные вспомогательные сооружения из древесины, податности и т. д. | —                  | 1,2    | 1,0    |

§ 15. В зависимости от влажности применяемого лесоматериала и условий эксплуатации конструкций допускаемые напряжения умножаются на поправочные коэффициенты табл. 5.

Таблица 5

| Влажность лесоматериала | Условия эксплуатации конструкций             |              |                                 |
|-------------------------|--|--------------|---------------------------------|
|                         | защищенные                                   | незащищенные | находящиеся постоянно под водой |
|                         | от атмосферных воздействий и почвенной влаги |              |                                 |
| Воздушно-сухой          | 1,0  | 0,9          | Не рекомендуется                |
| Полусухой . . . . .     | 0,9  | 0,8          | 0,7                             |
| Сырой . . . . .         | Не допускается                               | 0,7          | 0,7                             |

§ 16. Для древесины иных пород основные допускаемые напряжения, приведенные в табл. 2, умножаются на коэффициенты табл. 6, отнесенные для хвойных пород к сосне, для лиственных — к дубу.

§ 17. Общий поправочный коэффициент к основным допускаемым напряжениям, приведенным в табл. 2, вычисляется путем перемножения соответствующих коэффициентов, указанных в табл. 4, 5 и 6.

Таблица 6

| Породы леса                           | Переводные коэффициенты для допускаемых напряжений |                 |                       |           |
|---------------------------------------|--|-----------------|-----------------------|-----------|
|                                       | на сжатие  |                 | на изгиб и растяжение | на сжатие |
|                                       | вдоль волокон                                      | поперек волокон |                       |           |
| Сосна . . . . .                       | 1,0  | 1,0             | 1,0                   | 1,0       |
| » Ялтуши . . . . .                    | 0,9  | 0,8             | 0,9                   | 0,8       |
| » Кольского полуострова . . . . .     | 0,7  | 0,7             | 0,8                   | 0,8       |
| Ель . . . . .                         | 0,85   | 0,85            | 0,9                   | 0,9       |
| » Кольского полуострова . . . . .     | 0,7  | 0,7             | 0,7                   | 0,7       |
| Лиственница . . . . .                 | 1,2  | 1,2             | 1,3                   | 1,0       |
| Пихта уральская и сибирская . . . . . | 0,7  | 0,7             | 0,7                   | 0,6       |
| Пихта кавказская . . . . .            | 0,9  | 0,9             | 0,9                   | 0,8       |
| Кедр . . . . .                        | 0,9  | 1,0             | 0,8                   | 0,8       |
| Дуб . . . . .                         | 1,0  | 1,0             | 1,0                   | 1,0       |
| Береза . . . . .                      | 0,8  | 0,9             | 0,8                   | 0,7       |
| Вяз и карагач . . . . .               | 0,8  | 0,7             | 0,8                   | 0,8       |
| Каштан . . . . .                      | 0,7  | 0,7             | 0,8                   | 0,6       |
| Бук 1 . . . . .                       | 0,7  | 1,0             | 0,8                   | 0,8       |
| Липа 2 . . . . .                      | 0,6  | 0,5             | 0,6                   | 0,6       |

Примечания: 1. В сооружениях 2-го и 3-го классов допускается только в антисептированном виде.  
2. Допускается только в сооружениях 4-го класса.

**5. Постоянные величины**

§ 18. Расчетный объемный вес древесины сосны и дуба в зависимости от влажности приведен в табл. 7.

Расчетный объемный вес древесины иных пород вычисляется умножением значений табл. 7 (для хвойных — веса сосны, для лиственных — веса дуба) на коэффициенты:

|  |      |
|--|------|
| для лиственницы . . . . .  | 1,3  |
| » сосны Янгутии и Кольского полуострова . . . . .                        | 0,95 |
| » ели, пихты кавказской, кедра, березы и бука . . . . .                  | 0,90 |
| » пихты уральской и сибирской, вяза, карагача, каштана и ольхи . . . . . | 0,8  |
| » липы . . . . .   | 0,7  |

Таблица 7

| Порода          | Объемный вес в кг/м <sup>3</sup> древесины |           |       |
|-----------------|--|-----------|-------|
|                 | воздушно-сухой                             | полусухой | сырой |
| Сосна . . . . . | 500  | 550       | 600   |
| Дуб . . . . .   | 700  | 750       | 800   |

§ 19. Модуль упругости древесины на растяжение, сжатие вдоль волокон и изгиб независимо от породы леса принимается равным:

|                                    |                            |
|------------------------------------|----------------------------|
| для воздушно-сухого леса . . . . . | 100 000 кг/см <sup>2</sup> |
| » полусухого . . . . .             | 90 000 »                   |
| » сырого . . . . .                 | 70 000 »                   |

Примечание. Для сосны и ели Кольского полуострова и липы модуль упругости снижается на 30%.

## АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ <sup>1</sup>

- Автовоны 901.  
 Аллигатор (шпонка) 84.  
 Американская разрезная шпонка 84.  
 Анкерные прогоны (сегментных ферм) 309, 310.  
 Анкеры мачт на оттяжках 694, 695.  
 Антипирены 866.  
 Антисептики 850, 851.  
 Антраценовое масло 759, 850.  
 Арки — см. трехшарнирные арки.  
 Арки Делорма 488.  
 Арки комбинированн. сист. мостов 824, 835—837.  
 Арочно-подкосные мосты 772—774.  
 Арочные мосты 774—776.
- Бакелитовый клей** 121—122.  
**Балки двутавровые** — см. двутавровые балки.  
**Балки Деревягина** (на пластинчатых нагелях) 197—211; — изготовление 202; — конструирование 199; — расчет 200—202, 203—211 (таблицы).  
 » коробчатые — придание строительного подъема 171; — производство работ 186; — расчет 174—186; таблицы 177—185.  
 » на косых шпонках 189—190.  
 » подкрановые { брусчатые простые 707—708; Гау системы 716—722; — двутавровые 725—730; — параболические 730—735; — на пластинчатых нагелях 709—712; — ригельно-подкосные 722—725; — шпренгельные 712—716.
- Балки простейшие** 126—155. Общ. указ. по расч. и констр. 127—129, 40—41; — расчет балок из бревен 130—136, 141; — расчет балок из брусьев и досок 150—155, 141—149 (таблицы); — расчет неразрезных балок 128.  
**Балки прямоугольного сечения на гвоздях** 190—197.  
**Балочные мосты** малых и средних пролетов многопролетные 762; — с одноярусными прогонами 765; — простейшие 760—762; — с составными прогонами 765.  
**Балочные фермы** (подробно см. по типам): двускатные 274—284; — многоугольные сегментного очертания 284—285; — с параллельными поясами 274—284; — треугольные 244—253; треугольные с нагрузкой в углах 253—274.  
**Бандажи для консервированной древесины** 854; футляры 915.  
**Башни оболочечные** (общие данные) 637; см. водонапорные башни и градирни.  
 » **силосные** 668—676; — конструкции 669—расчет 670.
- Башни силосные** гнuto-настильные 670; — клепочно-обручные 673; — рубленые многогранные 675.  
 » системы Шухова 657—668 (пример расчета 660).  
**Безметалльные кружально-сетчатые своды** 482; см. своды кружально-сетчатые.  
**Безраспорные мосты** больших пролетов 806.  
**Биржи бревенные** 896; — пиломатериалов 903—904.  
**Болтовые нагели** 104.  
**Болты** вес 76; — сортамент 75.  
**Бонитет** 886.  
**Борьба с гниением** 848—865 (строительные меры 858); — пожарной опасностью 866—870.  
**Бревнотаски** 896.  
**Бугели** (для мачт) 693.  
**Бульдог** (шпонки Теодорсена) 85.  
**Бурра фермы** 804.  
**Буффо шпонка** (Форселя) 86.
- Вес объемный древесины** 12, 13.  
**Вес собственный**  
 — балок подкрановых 707; — балок простых 127; — балок тавровых деревянных 245; — болтов 76; — гвоздей 110; — куполов 584, 598; — сводов кружально-сетчатых 501; — ферм треугольных (с непосредственной нагрузкой) 253.  
**Ветровая нагрузка** — см. нагрузка ветровая.  
**Ветровые связи** (мостов) 758.  
**Вечная мерзлота** (сооружение мостов) 792.  
**Видегрена** дороги 892.  
**Виньоля** рельсы 737.  
**Висконсинские силосные башни** 670.  
**Вкладши** Грейма 87; — Корбша 81; — Кюблера 81; — Шпильмана 81.  
**Влажность древесины** 11, 12, 904, 905; — определение 905—907, 921—922.  
**Водонапорные башни-оболочки** 637—646; — расчет 638; — пример расчета 642.  
**Водяные лотки** 893.  
**Ворот** (для подтаски леса) 889.  
**Вредители древесины** 856.  
**Временное сопротивление древесины** 938; — изгибу 42; — растяжению 17; — сжатию 23, 921; смятию 48.  
**Врубки** (конструирование и расчет) 53—72; — лобовые 54, 57; — надежность соединений на врубках 70—72; — ножничные 66—70; — силосных башен 675; — трехплоскостные 60—66; — щековые 58—59.  
**Выгрузка** леса 895.
- Габариты подмостовые** 760—761; — проезда 760.  
**Галереи** и эстакады 735—755; — конструкции 736—745, 747; — примеры проектов 747—755; — расчет 745.

- Гау системы мосты 778—774, 781 (расчет); — подкрановые балки 716—722.
- Гвоздевые сопряжения 109—119, 817; — расчет 112—117; — сегментных ферм 319—328, 332.
- Гвозди забивание 110; — классификация 109; — крупносортные 118—119, 817; — для прямоугольных балок 491; — расстановка 111—112 (см. расстановка); для сводов Шухова-Брода 478; — сортамент 116; — строительные 110.
- Гвоздомет 119.
- Генеральные размеры мостов: больших пролетов 806; — малых и средних пролетов 759.
- Гензеля шпонка 82.
- Гетцера шпонка (скоба) 86.
- Гладкие кольцевые шпонки 82—85, 88, 96; — изготовление 95; — неразрезные 82—84; работа под действием усилий 89; — разрезные 84—85, 817; — расчетные данные 90—93; — сортамент 93; — стыки 90; — узлы 94, 255.
- Гниение — см. защита от гниения.
- Гнилостные процессы 849.
- Глуто-настильные силосные башни 670.
- Гошпенстала прибор 906.
- Горпче-холодная ванна 853.
- Градири-оболочки 646—656; — расчет 647—656; — пример расчета 650.
- Грейма вкладыш 87; Грейма накладка 88.
- Двускатные фермы с пологими скатами 284, 294—295; см. фермы с параллельными поясами.
- Двугавровые балки с перекрестной стенкой 211—235; — конструирование 211—217; — общие сведения 211; — расчет 217—232 (таблицы), 228—232 (односкатные и двускатные), 223—227 (с параллельными поясами); 233—235 (типовой); — строительный подъем 172, 217.
- » балки подкрановые 725 — 730.
- » » со сплошной стенкой гвоздевые 187.
- » » с фанерной стенкой 235—244; — конструкция 236—237; — общие сведения 235; — расчет 238—244; — строительный подъем 173, 237.
- Делорма арка 488.
- Дерево — см. древесина.
- Деревоплита конструкция 155; — деревоплита в междуэтажных перекрытиях 158, 808; — расчет 157.
- Деревягина балки 197—211; — подкрановые 709—712; см. балки.
- Деревянные трубы (мосты) 776.
- Деррик-краны 699—703.
- Детали клееные 119—126.
- Дефекты древесины (от сушки) 908—910.
- Деформации деревянных конструкций 21, 873; — гвоздевых сопряжений 113, 115; см. измерение деформаций.
- Дехаля шпонка 84.
- «Диакун» (определение влажности древесины) 921.
- Диафрагмы башен-оболочек 639, 646; — башен Шухова 657, 660; — сводов кружально-сетчатых 488, 504; — стрел деррик-кранов 700.
- Дисковая шпонка 80.
- Дифференциальные уравнения сводов-оболочек 548—552, 552—556 (метод интегрирования).
- Днища резервуаров 678.
- Допускаемые нагрузки — см. нагрузки.
- Допускаемые напряжения — см. напряжения.
- Древесина летняя 9, 13, 920; — спелая 9, 887.
- Древесины влажность 11, 12, 904, 905—907, 921—922; — звукопроводность 10; — коробление 11; — крестовина 12, 20—21, 871; — линейное расширение 10; — механические свойства 12, 920; — неправильности строения 14—16; — объемный вес 12, 13; — плотность 13; — пороки 20; — предел пропорциональности 24; — сортировка 889, 895; — строение 9; теплоемкость 10; — теплопроводность 10; — усушка 11, 872; — электросопротивление 10.
- Древесины растяжение 17—23; — сжатие 23—39; — скалывание 43—45; — смятие 46—48.
- Железнодорожные рельсы 737.
- Животный клей 121—122, 124.
- Забивание гвоздей 110, 117; — крупносортных 118—119.
- Заболонь 9, 887.
- Заготовка древесины 886—889.
- Закал 908, 909, 910.
- Занавесы негорюемые 868.
- Запань 893.
- Защита от загнивания галлерей и эстакад 746; — деревоплиты 161; — мостов 759, 815, 817, 828; см. борьба с гниением.
- Звукопроводность древесины 10.
- Зубчато-кольцевые шпонки 84—85, 96—100; — влияние усушки 873; — изготовление 100; — расчетные данные 98; — сборка конструкций 98.
- Иванова шпонка 85.
- Изгиб поперечный 39—43; — продольный 25—39; см. продольный изгиб.
- Измерение деформаций 875—876; 930—933, 934.
- Испытание деревянных конструкций 918—937.
- Казеиновый клей 121—123, 124.
- Камеры сушильные 904, 911.
- Капитализированная стоимость мостов 759.
- Карболинеум 850.
- Карлуса шпонка 83.
- Каркасные многоэтажные здания 632—636.
- Квятковского шпонка 83.
- Классификация антисептиков 850; — башен силосных 669; — гвоздей 109; — грибов-разрушителей 849; — мостов 756; — сооружений по условиям загнивания 849; — эстакад и галлерей 735.
- Клееные конструкции 119—126; способ изготовления 119—120.
- Клей для древесины см. по видам.
- Клепно-обручные силосные башни 673; — второй тип (1932 г.) 674; — первый тип (1931 г.) 673.
- «Кобра» (способ пропитки) 853.
- Кольцевые шпонки — см. гладкие и зубчатые кольцевые шпонки.
- Комбинированно-подкосные мосты 770—772.
- «Компис»-нила 888.
- Конденсационные процессы 858.
- Консервирование древесины 850—856; — способы 852; — выбор способа 856.
- Конструктивный строительный подъем 161—173; — второго рода 167; — первого рода 163—167; — придание балкам констр. строит. подъема 171.

- Конструктивный строительный подъем балок Деревягинна (на пластинчатых нагелях) 204, 709, 710; двутавровых с перекрестной стенкой 172, 217, 728; — двутавровых со сплошной стенкой 187; — двутавровых с фанерной стенкой 173, 237; — коробчатых 175; — прямоугольных 192; — тавровых 247.
- » строительный подъем шпренгельных ферм 250.
- Корбша вкладыши 81.
- Коробление древесины 11.
- Коробчатые балки — см. балки коробчатые.
- Косослой 14, 20, 23.
- Коуши 691.
- Коэффициенты приведения (закрепления) при продольном изгибе 26; — трения дерева по дереву при продольном изгибе 54; — уменьшения напряжения при продольном изгибе 25.
- Крень 15.
- Креозот 759, 850.
- Креозотовое масло 850.
- Крепление монорельсов к рамам фонарей 448—450; — оттяжек мачт 691, 692; — рельсов к подкрановым балкам 734.
- Крепость древесины: влияние плотности, влажности и строения 12, 20—21, 871; см. сопротивление временное.
- Кристоф и Уймак шпонка 82.
- Кровля галлерей 742; — куполов 587; — навесов и сараев 606; — сводов-оболочек ребристых 533; — сводов-оболочек тонкостенных 519—520.
- Кружально-сетчатые своды 482; см. своды кружально-сетчатые.
- Крупносортные гвозди 118—119.
- Крюгера шпонка 83.
- «Кук» (антисептин) 851.
- Куполы кольчегамассивные 598.
- » плоскостные ребристые 583—588; — расчет 584.
- » полусборные и сборные 603.
- » ребристые оболочки вращения 593, 598; — расчет 594.
- » сетчатые 589.
- » тонкостенные оболочки вращения 589—593; — расчет 589.
- Кюблера вкладыши 81.
- Лебедки (для подгаски леса) 889.
- Ледорезы 789—792.
- Ледяные дороги 892.
- Лежневые дороги 891.
- Лесной транспорт 889.
- Лесные ресурсы СССР 879—886.
- Лесопильные заводы 897.
- Лесная древесина 913, 920.
- Линейное расширение древесины 10.
- Линии влияния для мостов безраспорных систем больших пролетов 808—810; — Гау 783; — комбинированно-подкосных 772; — плашпоутов 797; — ригельно-подкосных 770; — Тауна 786; — трапециoidalно-подкосных 769.
- Линии влияния для подкрановых балок Гау 718; — приближенных 733; — ригельно-подкосных 723; — шпренгельных 714.
- Лобовые врубки 54, 57; узлы на лобов. врубках 254, 266, 274.
- Лучи сердцевинные 10.
- Материалы для деревянных конструкций 937; 939; — нагрузки при испытаниях конструкций 928; — подкрановых балок 707; — резервуаров 677; — сводов Шухова-Брода 476; — сегментных ферм 296; — трехшарнирных арок из сегментных ферм 423; — трехшарнирных арок из треугольных ферм 411, 416.
- Мачты на оттяжках 682—699; — конструирование 691—696; — расчет 682—691; 695.
- Механические свойства древесины 12.
- Многоугольные фермы сегментного очертания 284—285.
- Многоэтажные здания — см. каркасные здания.
- Модуль упругости дерева 17, 18, 24, 42, 940.
- Молевой сплав 893.
- Моментная теория (своды-оболочки) 548.
- Моменты инерции (таблицы) балок из бревен 136; — балок составных 135; — поперечного сечения сводов-оболочек 542; — прямоугольных сечений 137—140.
- Моменты сопротивления } см. моменты инерции.
- Моменты статические }
- Монорельсов подвешивание к рамам фонарей 448—450.
- Морской древоточец 857.
- Мосты больших пролетов — см. сложные плоскостные системы.
- Мосты малых и средних пролетов 755—800 (см. также по типам); — арочные 774; — балочные 760; — в вечной мерзлоте 792; — классификация 756; — наплавные 793; — основные данные для проектирования 759, 760; — подкосные 767; — с решетчатыми фермами 777; — трубы 776.
- Мосты с решетчатыми фермами (малых и средних пролетов) 777—786; — Гау 778—784; — расчет 781; — Лембке 786; — подвесные 777, 778; — Тауна 784—786.
- Наблюдение за конструкциями в эксплуатации 875.
- Навесы (и сараи) 604—618; — двухпролетные 611; — консольные и козырьковые 618; — многопролетные 615; — однопролетные 606; — трехпролетные 615.
- Нагельные соединения 100—109; — конструирование 106; — работа 100—102; — расчет 102—106, 108; типы 100.
- Нагрузка ветровая 437; — башен-оболочек 637; — башен Шухова 657; — кружально-сетчатых сводов 501; — куполов 590; — мачт на оттяжках 682, 683.
- Нагрузка допустимая балок из досок и брусков 142—149 (таблицы).
- Нагрузка при испытаниях конструкций 922, 929, 933.
- Нагрузка расчетная мостов 760.
- Нагрузка снеговая 313—314, 437; — кружально-сетчатых сводов 501.
- Накладки металлические 73; — в гвоздевых сопряжениях 115; — Грейма 88; — в двутавровых балках 215, 216.
- Наплавные мосты 793—797.
- Напряжения дополнительные от изгиба 21—23.
- Напряжения, допускаемые для дерева, 938, 939; — изгиб 42; — растяжение 20, 21; — сжатие 24; — скалывание 42, 45; — смятие 48; — для гвоздей 112.
- Напряжения, допускаемые в конструкциях и сооружениях: арки из сегментных ферм 429; — балки Деревягинна (на пластинчатых

- тых нагелях) 200; — балки двутавровые (стыки) 216; балки прямоугольные на гвоздях 190; — башни силосные 670, 674; — градири-оболочки 648; — сегментные фермы 351.
- Напряжения, допускаемые в сопряжениях:** врубки 54, 58; — гвоздевые сопряжения 112, 115 (прокладки); — нагельные сопряжения 104, 105, 106; — хомуты резервуаров 678.
- Напряжения, допускаемые для фанеры, 114, 241.**
- Неправильности строения древесины 14—16.**
- Ножничные врубки 66—70; узлы ферм на ножничных врубках 255, 256, 261, 262, 275.**
- Номограммы для расчета балок из брусьев и досок 151—153; — дереволиты 158; — стержней на продольный изгиб 27—29.**
- Области применения арок и сегментных ферм 421; — арок из треугольных ферм 407, 409, 416; — арочных мостов 774; — балок двутавровых с перекрестной стенкой 211;**
- Балок двутавровых с сплошной стенкой 187**
- » » » фанерной » 235
  - » Деревягина (на пластинчатых нагелях) 198
  - » на косых шпунках 188
  - » простейшего вида 127
  - » прямоугольных на гвоздях 190
  - » тавровых (ферм) 245
  - » шпренгельных 249
  - » — галлерей и эстакад различных типов 739, 740; — Гау системы мостов 778; — комбинированных систем мостов больших пролетов 803, 806; — мачт на оттяжках 682; — подкрановых балок деревянных 706; — пустотелых сжатых стержней 699; — рамных конструкций фонарей 436; — сводов кружально-сетчатых 483; — сводов Шухова-Брода 476; — ферм сегментных 296.
- Оболонь — см. заболонь.**
- Оболочки — см. своды, куполы, башни.**
- Обработка древесины вторичная 911—917; — первичная 897—904.**
- Обручи силосных башен 673.**
- Объемный вес древесины 12, 13, 18, 794.**
- Огнезащитные преграды и продухи 869.**
- Односкатные фермы — см. фермы с параллельными поясами.**
- Опасные сечения (продольный изгиб) 26, 38.**
- Опорные рамы (при испыт. констр.) 929.**
- Опоры галлерей и эстакад 743, 744; — для испытываемых конструкций 929; — куполов 587, 597, 598; — мостов больших пролетов 826; — мостов средних пролетов 786—789; — рам световых фонарей 439, 447, 449, 456, 463, 474.**
- Ослабление сечения (при растяжении) 21.**
- Осмотр конструкций при испытаниях 919, 934.**
- ОСТ «Деревянные конструкции» (проект) 937—940.**
- Осушающие продухи 862—865.**
- Отводы воды с крыш 862.**
- Оценка работы конструкций (по результатам испытаний) 935—937.**
- Очистка стволов 889.**
- Параболические подкрановые балки 730—735.**
- Пароизоляция 860—865.**
- Парциальное давление пара 858.**
- Пилы для валки леса 888; — ленточные 900.**
- Пластинчатые нагели 197—211; 709—712; 817.**
- Плашкоутные мосты 794—797; — расчет 795.**
- Плотность древесины 13.**
- Плотовые мосты 793.**
- Подбор сечений балок простых 136—150 (таблицы); — балок тавровых 245; — на продольный изгиб 27; — сегментных ферм элементов 320, 330—332.**
- Подкосных систем мосты (конструкция и расчет) 767—774; — арочно-подкосные 772—774; — комбинированно-подкосные 770—772; — ригельно-подкосные 769, 770; — трапецидально-подкосные 767—769; — расчет 768.**
- Подкрановые балки — см. балки подкрановые.**
- Подтаска леса 890—891.**
- Подъем конструктивный строительный 161—173; см. конструктивный строительный подъем.**
- Полосы фермы 265, 274, 288—292 (расчетные таблицы).**
- Понтонные мосты 794.**
- Поперечный изгиб 39, 42—43.**
- Породы древесины — группировка по строению 9; — лиственные породы 884; — механические свойства 13; — объемный вес 12, 13, 18, 794; — хвойные породы 884.**
- Пороки древесины 20; см. неправильн. строения.**
- Предел пропорциональности (древесины) 24.**
- Предохранение от вредителей 857.**
- Предохранение от загниваний — см. защита от загнивания и борьба с гниением.**
- Прессы для склейки 125.**
- Принципы конструирования мостов больших пролетов 816.**
- Проверка размеров конструкций 919.**
- Прогиб балок простых 127, 128; — балок коробчатых 175; — балок составных 162; — дереволиты 157; — мостов комбинированных систем 811.**
- Продольный изгиб деревянных стержней 25—39; — опертых в промежуточных точках 34; — составного сечения 27—35; — сплошного сечения 25—27; — с переменным моментом инерции 34.**
- Продольный изгиб поясов двутавровых балок с фанерной стенкой 238.**
- Продухи осушающие 862—865; — огнезащитные 869.**
- Проекты мостов больших пролетов (примеры) 818—848.**
- Производство работ по сооружению куполов 603; — мачт на оттяжках 696, 697; — мостов больших пролетов 828—830, 843—848; — сводов-оболочек ребристых 541; — сводов-оболочек тонкостенных 530; — сводов Шухова-Брода 480—482.**
- Прокладки в гвоздевых сопряжениях 115; — в двутавровых балках 215—216.**
- Пропитка древесины антипиренами 866; — горяче-холодной ванной 853; — под давлением 852; — «Кобра» 853.**
- Прочность древесины — см. крепость древесины.**
- Противопожарные мероприятия: галлерей и эстакады 746; — мосты 817, 828; см. «Борьба с пожарной опасностью».**
- Психрограф 904.**
- Радиомачты — см. мачты на оттяжках.**
- Радиус инерции составных сечений (табл.) 36—38.**
- Разбивка на пролеты галлерей и эстакад 744; — мачт на оттяжках 692.**



- Развитие деревянного мостостроения (данные) 800—803.
- Разделка стволов 889.
- Размещение гвоздей — см. расстановка.
- Рамные конструкции фонарей 436—474; см. «рамы» по типам.
- Рамные опоры мостов 788.
- Рама лесопильные 898—900.
- Рама световых фонарей двутаврового сечения 466—474; — расчет 467, 469; — примеры 469—474.
- Рама световых фонарей двухшарнирные 438—450; — расчет 439—446; — подвеска мопорельсов 448—450; — примеры 446.
- Рама световых фонарей с криволинейными поясами 456—466; — расчет 457—459; — примеры 459—466.
- Рама световых фонарей шпренгельные 450—456; расчет 451—453; — примеры 453—456.
- Раскройный цех 911, 912—917.
- Распорные системы мостов больших пролетов 804.
- Расстановка гвоздей в гвоздевых сопряжениях элементов конструкций 111—112, 116; — двутавровых балках с перекрестной стенкой 211—212; — деревоплите 155—156; — коробчатых балках 174; — поясах сегментных ферм 300; — прямоугольных балках 191; — узлах сегментных ферм 304.
- Расстановка нагелей в балках Деревягина (пластинчатых) 199, 211; — нагельных сопряжениях 166, 169; — поясах сегментных ферм 302.
- Растяжение древесины 17—23; — вдоль волокон 17; — под углом к волокнам 18; — поперек волокон 18; — в элементах деревянных конструкций 20—23.
- Расход материалов для автодорожных мостов 797—800; 831—833, 846—847.
- Расход металла в балках двутавровых с перекрестной стенкой 211; — балках подкрановых 707; — балках тавровых 245; — куполах-оболочках 598; — треугольных фермах 253, 254; — в трехшарнирных арках на треугольных ферм 415.
- Расчет арок из сегментных ферм 432—436; — из треугольных ферм 286—292.
- Расчет балок двутавровых с перекрестной стенкой 217—235; — двутавровых со сплошной стенкой 187; — двутавровых с фанерной стенкой 238—244; — Деревягина 203—211; — коробчатых 174—186; — на косях шпонах 188—190; — простых 128—155, 40—41; — прямоугольных на гвоздях 190—197.
- Расчет балочных ферм двускатных, односкатных и с параллельными поясами 281—293.
- Расчет балочных ферм тавровых (балок) 245—249.
- » » » треугольных 286—292 (см. таблицы).
- Расчет балочных ферм шпренгельных 249.
- Расчет башен-оболочек 638—646, 647—656.
- » » » силосных 670.
- » » Шухова 657—668.
- Расчет гибкой нити 682—684.
- Расчет деревоплиты 157—161.
- Расчет куполов плоскостных ребристых 584; — ребристых оболочек вращения 594; — тонкостенных оболочек 589—593.
- Расчет мачт на оттяжках: оттяжек 685—689; — тела мачты 689—691.
- Расчет мостов арочных 776; — балочных 765—767; — больших пролетов (комбинированных) 807—812; — Гау 781—784.
- Расчет мостов плашкоутных 795; — подкосных 768, 769, 772, 774; — Тауна 786.
- Расчет рам световых фонарей двутавровых 467, 469; — двухшарнирных 439—446; — с криволинейными поясами 457—459; — шпренгельных 451—453.
- Расчет резервуаров 679 (хомутов).
- Расчет сводов кружально-сетчатых 488—500 (геометрический), 501—504 (статический).
- » » оболочек ребристых 538—540; 542—548 (приближенный).
- » » тонкостенных 520—530; 548—556, 556—583 (графики).
- » » Шухова-Брода 479.
- Расчет сегментных ферм 313—335, 350—406 (таблицы).
- Расчет сжатых пустотелых стержней 703—706.
- Расчет сопряжений элементов конструкций: вруб-бок 53—72; — гвоздевых 112—117; — нагельных 100—108; — шпонак 77—80, 90—93, 98.
- Расчет элементов деревянных конструкций изгибаемых 40—41; — растянутых 22; — связей на сдвиг при продольном изгибе 30, 38; — сжатых 24—39, 939; — сжатых арок и сводов 35, 939; — сжатых с изгибом 35; — скалывания 45; — скалывания при изгибе 42; — смятия 48; — составных брусев на податливых соединениях 163.
- Режим камерной сушки 904—908.
- Резервуары 677—681.
- Результаты испытаний трехшарнирных арок 409.
- Рельсы железнодорожные (Виньоля) 737.
- Ремонт деревянных конструкций 876.
- Ригельно-подкосные мосты 769; — подкрановые балки 722—725.
- Рубленые силосные башни 675.
- Ряжевые опоры мостов 789.
- Сараи — см. навесы и саран.
- Сбег 9.
- Сборка и подъемка мачт 696, 697.
- Сборка и установка мостов больших пролетов 828—830; 843—848.
- Сборочный цех 917.
- Свайные опоры мостов 786.
- Своды кружально-сетчатые 73, 482—516; — конструкция 484—488; — примеры проектирования 504—516; — расчет геометрический 488—500; — расчет статический 501—504.
- Своды-оболочки (общие сведения) 516.
- » » ребристые: конструкция 530—538; — расчет 538—540, 542—548 (приближенный).
- » » тонкостенные: конструкция 517—520; — расчет 520—530, 548—556, 556—583 (графики).
- Своды Шухова-Брода 475—482; — конструкция 476—479; — расчет 479—480.
- Связи сегментных ферм 309—311; — мостов — см. ветровые.
- Сдвиг швов в составных балках 162—166.
- Сегментные фермы 296—406; — конструкции 299—312; — общие сведения 296; — примеры проектирования 335—350; — расчет 313—335, 350—406 (таблицы); — схемы 297—299.

- Сетчатые куполы 585.  
 Сердцевина 9.  
 Сердцевинные лучи 10.  
 Сжатие древесины 23—39; — вдоль волокон 23; — под углом 23; — продольный изгиб — см. продольный изгиб.  
 Сжатые пустотелые стержни 699—706; — конструкции 699—703; — расчет 703—706.  
 Силосные башни — см. башни силосные.  
 Сименс-Баунион узлы 87.  
 Скалывание древесины 43.  
 Склады сыпучих материалов: схемы 619—621; — конструкции 620, 622—631.  
 Склейка деталей 119—120, 123—126.  
 Скобы 73; — Гетцера 86.  
 Скорость затвердевания клея 124.  
 Сложные плоскостные системы мостов больших пролетов 800—848; — конструирование 816; — общие данные и схемы 800—807; — предпосылки для применения 812—816; — примеры проектов 818—848; — расчет приближенный 808—812; — расчет точный 807.  
 Слой годовые 9.  
 Смятие древесины 46.  
 Снеговая нагрузка — см. нагрузка снеговая.  
 Солевые антисептики 851.  
 Сопrotивление временное дерева 938; — изгибу 42; — растяжению 17; — сжатию 23, 921; — смятию 48.  
 Сопряжения элементов деревянных конструкций: общие соображения 49; — типы 50; — подробно см. по типам.  
 Сопряжения элементов на растянутых креплениях 72.  
 Сортамент болтов 75; — гвоздей 116; — кольцевых шпонок 93; — пиленого леса 128; — рельсов 737.  
 Сортировка древесины 889, 895.  
 Составные балки 161.  
 Сплав леса 893—895.  
 Сплотка бревен 894.  
 Стандарты на тавровые балки 244.  
 Станки для придания строительного подъема 171—172; — сборки балок Деревягина 203; — переносные электродолбежные 198; — поперечно-пильные 913; — продольно-пильные 913; — строгальные, долбежные и сверлильные 914—916.  
 Стены галлерей 738—742.  
 Стереофотограмметрический метод измерен. деформаций 932.  
 Стефана шпонка 83.  
 Стрелы деррик-кранов 700.  
 Строчение древесины 9.  
 Строительные меры борьбы с гниением 858—865.  
 Строительный подъем сегментных ферм 311.  
 Стройдэоры 912.  
 Стыки анкерных прогонов 309; — балок составных 170; — поясов двутавровых балок 213—217, 237; — поясов сегментных ферм 300—302; — сводов-оболочек (настила) 524.  
 Стяжные болты 74.  
 Суперобмавка 855.  
 Сучки 15, 21.  
 Сушка древесины 901, 911; — воздушная 902; — камерная 904.  
 Схемы: мостов больших пролетов 803, 804—806; — решетки сегментных ферм 297—299.  
 Таблицы для расчета арок из треугольных ферм  
 » » » 409, 410, 415, 420; — арок из сегментных ферм 432—435.  
 » » » балок: двутавровых с перекрестной стенкой 217—232; — Деревягина (ва пластинчатых нагельях) 205—210; — коробчатых 175—186; — простых 131—149, 40—41; — прямоугольных на гвоздях 193—197.  
 » » » балочных ферм 286—295.  
 » » » сводов-оболочек (графики) 556—583.  
 » » » сегментных ферм 313—317 (усилий в элементах); 321—322 (сдвигающих сил); 329 (расчет гвоздей); 330—332 (подбор сечений); 350—406 (общий расчет).  
 Таблицы для расчета сопряжений гвоздевых шпонок 98.  
 Таблицы психрометрические 906.  
 » режима сушки 907—908.  
 » радиусов иверции составн. сечен. 35—38.  
 Тавровые балки: конструкция 244; — расчет 245—249.  
 Тарельчатая шпонка 81.  
 Температурный гистерезис 859, 872.  
 Теплопроводность древесины 10.  
 Теодорсена шпонка (бульдог) 85.  
 Тонкостенные башни-оболочки — см. градирни.  
 Транспорт леса 889—893; — пиленого леса 912.  
 Трапецидально-подкосные мосты 767—769.  
 Трехплоскостные врубки 60—66; — с металлическими тяжами 63.  
 Треугольные фермы с непосредственной нагрузкой 250—253; — тавровые 242—249; — шпренгельные 249—250.  
 Треугольные фермы с узловой нагрузкой с восходящими раскосами 262—264, 265, 271, 286.  
 » » с нисходящими раскосами 253—262, 265, 286; — с переменными раскосами 264, 274, 287; — Полонсо 265, 274, 288—292.  
 Трехшарнирные арки из сегментных ферм 296, 421—436; — конструкции 421—423; — примеры 423—431; — расчет 432—436.  
 Трехшарнирные арки из треугольных ферм 407—421; — конструкции 411—414; — расчет 407—410.  
 » » на березовых или дубовых нагельях 409—416.  
 » » на гвоздях 416—421.  
 Трещины 909, 910.  
 Триангуляционные вышки 703.  
 Триолит 851.  
 Трубы (мосты) 776.  
 Трубчатые нагели 105.  
 Тухшерера шпонки — см. гладкие кольцевые шпонки.  
 Ударная проба (на твердость) 920—921.  
 Узлы балочных ферм на врубках — см. по типам врубок; — гладко-кольцевых шпонках 94, 255, 257, 258, 261, 262, 263—265; — зубчато-кольцевых шпонках 259, 261, 262, 263—

- 265, 277; — нагелях 257, 263, 275; — тяжах 259, 306, 307; — хомутах 259, 260.
- Узлы** кружально-сетчатых сводов опорные 486; — сетки 484; — торцевые 487.
- Узлы** мачт на оттяжках 687, 691—693.
- » подкрановых балок Гау 717, 718; — параболических 731; — ригельно-подносных 723.
  - » рам фонарей — см. примеры по типам рам.
  - » сегментных ферм: опорные 305—309, 333—334, 352; — поясов 303, 304, 311.
  - » трехшарнирных арок из сегментных ферм: опорные 421—422; — коньковые 423.
  - » трехшарнирных арок из треугольных ферм 412—413; 417—420.
- Уклоны** проезжей части мостов 759.
- Уралит** 851.
- Усиление** деревянных конструкций 877.
- Условия** возникновения гниения 849.
- Усушка** материала (влияние на конструкции) 872, 41.
- Утепление** водонепроницаемых башен 638; — галлерей 741, 742; — сводов-оболочек ребристых 536; — сводов Шухова-Брода 478; — силосных башен 673.
- Уход** за мачтами на оттяжках 698.
- Ферма** Бурра 804.
- » жесткости (мостов больших пролетов) 804, 806, 824—826, 837—840.
- Фермы** — см. балочные и сегментные фермы.
- Фермы** для галлерей и эстакад 739, 740 (схемы).
- Фермы** с параллельными поясами: с восходящими раскосами 274, 275, 279; — с нисходящими раскосами 275, 276, 281, 293; — с переменными раскосами 276, 279.
- Фонари** световые на сегментных фермах 312, 352; — на сводах Шухова-Брода 478; см. «Рамы световых фонарей».
- Формула** Знаменского (скалывание) 44.
- Тетмайера (продольный изгиб) 25.
  - ТУ и Н (продольный изгиб) 25.
  - Эйлера (продольный изгиб) 25.
- Форселя** шпонка (Буффо) 86.
- Фтористый натрий** 851.
- Фундаменты** галлерей и эстакад 744; — мачт на оттяжках 696; — треугольных вышек 703.
- Хлористый цинк** 851.
- Хомуты** резервуаров 678, 679; — силосных башен 673.
- Хорьнова** шпонка (ЦНИПС) 85.
- Хранение** бревен (на биржах) 896—897.
- Чердачные** покрытия (характеристика) 862.
- Шаблоны** для расстановки гвоздей 471.
- Шильмана** вкладыши 81.
- Шпонки** круглые 80—82; — общие сведения 50, 77; — призматические 77—80.
- » деревянные: 21, 78—79, 80; — круглые 80.
  - » металлические: когтевые 85—88; — прямоугольные 79; — центровые 80; см. гладко-кольцевые шпонки и зубчато-кольцевые шпонки.
- Шпренгельные** подкрановые балки 712—716.
- Шпренгельные фермы** (конструкция и расчет) 249—250.
- Шульца** шпонка 79.
- Шухова** башни — см. башни.
- Шухова-Брода** своды — см. своды.
- Щековые** врубки 58; — узлы на щековых врубках 257, 258, 274, 276, 305.
- Эксплуатация** деревянных конструкций 871—878.
- Электросопротивление** древесины 10.
- Элементы** пролетного строения мостов 757.
- Ядро** (древесины) 9, 837.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   | <i>Стр.</i> |  | <i>Стр.</i> |
|---|-------------|--|-------------|
| Предисловие . . . . .   | 7           |  |             |
| <b>РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ</b>  |             |  |             |
| <b>ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ</b>   |             |  |             |
| <b>I. Строение древесины и ее основные свойства</b>   |             |  |             |
| Проф. Е. И. Савков  |             |  |             |
| 1. Строение древесины . . . . .   | 9           |  |             |
| 2. Физические свойства древесины . . . . .  | 10          |  |             |
| 3. Механические свойства древесины . . . . .  | 12          |  |             |
| 4. Влияние на крепость древесины влажности, плотности и неправильностей ее строения. . . . .    | 12          |  |             |
| 1) Влияние влажности . . . . .  | 12          |  |             |
| 2) Влияние плотности . . . . .  | 13          |  |             |
| 3) Влияние неправильностей строения . . . . .   | 14          |  |             |
| Литература . . . . .  | 16          |  |             |
| <b>II. Растяжение</b>   |             |  |             |
| Инж. В. В. Большаков  |             |  |             |
| 1. Лабораторные данные . . . . .  | 17          |  |             |
| 1) Растяжение вдоль волокон . . . . .   | 17          |  |             |
| 2) Растяжение поперек волокон . . . . .   | 18          |  |             |
| 3) Растяжение под углом . . . . .   | 18          |  |             |
| 2. Растяжение в элементах деревянных конструкций . . . . .                                      | 20          |  |             |
| 1) Допускаемые напряжения . . . . .   | 20          |  |             |
| 2) Центральное растяжение . . . . .   | 20          |  |             |
| 3) Внецентренное растяжение . . . . .   | 22          |  |             |
| <b>III. Сжатие</b>  |             |  |             |
| Инж. В. П. Синицын  |             |  |             |
| 1. Лабораторные данные . . . . .  | 23          |  |             |
| 1) Сжатие вдоль волокон . . . . .   | 23          |  |             |
| 2) Сжатие под углом к направлению волокон . . . . .   | 23          |  |             |
| 3) Предел пропорциональности и модуль упругости . . . . .                                       | 24          |  |             |
| 2. Расчет сжатых элементов . . . . .  | 24          |  |             |
| 1) Допускаемые напряжения . . . . .   | 24          |  |             |
| 2) Расчет на центральное сжатие . . . . .   | 25          |  |             |
| 3) Продольный изгиб стержней сплошного сечения . . . . .  | 25          |  |             |
| 4) Расчет на продольный изгиб стержней составного сечения. . . . .                              | 27          |  |             |
| 5) Расчет стержней, опертых в промежуточных точках . . . . .                                    | 34          |  |             |
| 6) Расчет стержней с переменным моментом инерции . . . . .                                      | 34          |  |             |
| 3. Расчет элементов, работающих на сжатие с изгибом . . . . .                                   | 35          |  |             |
| 4. Расчет арок и сводов . . . . .   | 35          |  |             |
| Литература . . . . .  | 39          |  |             |
| <b>IV. Поперечный изгиб</b>   |             |  |             |
| Инж. М. Е. Каган  |             |  |             |
| 1. Распределение внутренних напряжений в изогнутом брусе. Расчет на прочность . . . . .         | 39          |  |             |
| 2. Временное сопротивление. Предел долговременного сопротивления. Расчетная жесткость . . . . . | 42          |  |             |
| Литература . . . . .  | 42          |  |             |
| <b>V. Скалывание</b>  |             |  |             |
| Инж. Г. Г. Тахтамышев   |             |  |             |
| 1. Лабораторные данные . . . . .  | 43          |  |             |
| 2. Расчет элементов деревянных конструкций на скалывание . . . . .                              | 45          |  |             |
| <b>VI. Смятие</b>   |             |  |             |
| Инж. Г. Г. Тахтамышев   |             |  |             |
| 1. Лабораторные данные . . . . .  | 46          |  |             |
| 1) Особенности работы древесины на смятие . . . . .   | 46          |  |             |
| 2) Смятие вдоль волокон . . . . .   | 46          |  |             |
| 3) Смятие поперек волокон . . . . .   | 46          |  |             |
| 4) Смятие под углом . . . . .   | 47          |  |             |
| 2. Расчет элементов деревянных конструкций на смятие . . . . .                                  | 48          |  |             |
| <b>РАЗДЕЛ ВТОРОЙ</b>  |             |  |             |
| <b>СОПРЯЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ</b>  |             |  |             |
| <b>I. Общие соображения при выборе и конструировании сопряжений элементов</b>                   |             |  |             |
| Проф. Г. Г. Карлсен   |             |  |             |
| 1. Основные положения . . . . .   | 49          |  |             |
| 2. Характеристика основных типов сопряжений . . . . .   | 50          |  |             |
| 1) Врубки . . . . .   | 50          |  |             |
| 2) Сопряжения на деревянных шпонках . . . . .   | 50          |  |             |
| 3) Сопряжения на металлических шпонках . . . . .  | 51          |  |             |
| 4) Нагельные сопряжения . . . . .   | 51          |  |             |
| 5) Прочие виды сопряжений . . . . .   | 52          |  |             |
| 3. Выводы . . . . .   | 53          |  |             |
| <b>II. Врубки</b>   |             |  |             |
| Инж. М. Д. Анненков   |             |  |             |
| 1. Общие указания для проектирования и расчета врубок . . . . .                                 | 53          |  |             |
| 2. Расчет и конструирование узловых сопряжений на врубках . . . . .                             | 53          |  |             |
| 1) Лобовые врубки с одиночным зубом . . . . .   | 54          |  |             |

|   | Стр.      |  | Стр. |
|---|-----------|--|------|
| 2) Лобовые врубки с двойным зубом . . . . .                                 | 57        | 3. Расчет нагельных соединений . . . . .   | 102  |
| 3) Щелевые врубки . . . . .   | 58        | 4. Конструктивные указания . . . . .   | 106  |
| 4) Трехплоскостные врубки . . . . .   | 60        | 5. Примеры расчета . . . . .   | 108  |
| 5) Ножничные врубки . . . . .   | 66        | Литература . . . . .   | 109  |
| 3. Надежность узловых сопряжений на врубках . . . . .                       | 70        | <b>VIII. Гвоздевые сопряжения</b>  |      |
| Литература . . . . .  | 72        | Доц. Г. А. Цвингман  |      |
| <b>III. Сопряжение элементов деревянных конетрувций на растянутых краях</b> | <b>72</b> | 1. Классификация гвоздей . . . . .   | 109  |
| Проф. Г. Г. Карлсен   |           | 2. Строительные гвозди . . . . .   | 110  |
| <b>IV. Шпонки</b>   |           | 3. Забивание гвоздей . . . . .   | 110  |
| Инж. В. Ф. Гаузе  |           | 4. Расстановка гвоздей . . . . .   | 111  |
| 1. Общие сведения . . . . .   | 77        | 5. Расчет гвоздевых сопряжений . . . . .   | 112  |
| 2. Призматические (линейные) шпонки . . . . .                               | 77        | 1) Расчет на сдвиг . . . . .   | 112  |
| 1) Поперечные деревянные шпонки . . . . .                                   | 78        | 2) Расчет на выдергивание . . . . .  | 116  |
| 2) Продольные деревянные шпонки . . . . .                                   | 78        | 6. Производство работ . . . . .  | 117  |
| 3) Металлические шпонки . . . . .   | 79        | Литература . . . . .   | 118  |
| 3. Круглые (центровые) шпонки сплошного сечения . . . . .                   | 80        | <b>IX. Крупносортовые гвозди</b>   |      |
| 4. Гладкие кольцевые шпонки . . . . .                                       | 82        | Инж. Н. Ф. Котов   |      |
| 1) Неразрезные кольцевые шпонки . . . . .                                   | 82        | <b>X. Клееные деревянные детали в конструкциях</b>   |      |
| 2) Разрезные кольцевые шпонки . . . . .                                     | 84        | Инж. Н. Ф. Бочаров   |      |
| 5. Зубчато-кольцевые шпонки . . . . .                                       | 84        | 1. Введение . . . . .  | 119  |
| 6. Когтевые шпонки . . . . .  | 85        | 2. Способы изготовления отдельных деталей . . . . .  | 119  |
| 1) Шпонка «Бульдог» (инж. Теодорсена) . . . . .                             | 85        | 3. Клей для склеивания древесины . . . . .   | 121  |
| 2) Шпонка Буффо (инж. Форсель) . . . . .                                    | 86        | 4. Подготовка древесины для склеивания . . . . .   | 123  |
| 3) Скоба Гетцера . . . . .  | 86        | 5. Процесс склеивания . . . . .  | 123  |
| 4) Вкладыши Грейма . . . . .  | 87        | Литература . . . . .   | 126  |
| 5) Стыковые накладки системы Грейма . . . . .                               | 88        | <b>РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ</b>   |      |
| Литература . . . . .  | 88        | <b>ПЛОСКОСТНЫЕ СИСТЕМЫ</b>   |      |
| <b>V. Гладко-кольцевая шпонка</b>   |           | <b>I. Балки простейшего вида</b>   |      |
| Инж. Ю. М. Иванов   |           | Инж. П. П. Николаев  |      |
| 1. Общие сведения . . . . .   | 88        | 1. Общие сведения . . . . .  | 127  |
| 2. Работа гладких кольцевых шпонок под действием усилий . . . . .           | 89        | 2. Общие конструктивные и расчетные указания . . . . .   | 127  |
| 1) Различие в работе разрезного и вмянутого кольца . . . . .                | 89        | 3. Расчет балок из бревен . . . . .  | 130  |
| 2) Работа кольца как шпонки . . . . .                                       | 89        | 4. Расчет балок из брусьев и досок . . . . .   | 141  |
| 3) Запас прочности и характер разрушения соединений . . . . .               | 89        | 1) Вспомогательные таблицы . . . . .   | 141  |
| 3. Расчетные данные и сортамент шпонок . . . . .                            | 90        | 2) Номограмма для расчета балок из брусьев и досок . . . . .                                       | 151  |
| 4. Стыки . . . . .  | 90        | Литература . . . . .   | 155  |
| 5. Узлы . . . . .   | 94        | <b>II. Деревяшита</b>  |      |
| 6. Требования к изготовлению кольцевого соединения . . . . .                | 95        | Инж. П. П. Николаев  |      |
| Литература . . . . .  | 96        | 1. Общая характеристика . . . . .  | 155  |
| <b>VI. Зубчато-кольцевая шпонка</b>   |           | 2. Конструкция . . . . .   | 155  |
| Инж. М. М. Хорьков  |           | 3. Расчет . . . . .  | 157  |
| 1. Общие сведения . . . . .   | 96        | 1) Расчет деревяшита в кровельных покрытиях . . . . .  | 157  |
| 2. Проектирование конструкций на зубчато-кольцевых шпонках . . . . .        | 98        | 2) Расчет деревяшита в междуэтажных перекрытиях . . . . .  | 159  |
| 3. Сборка конструкций . . . . .   | 98        | 4. Защита от гниения . . . . .   | 161  |
| 4. Изготовление зубчато-кольцевых шпонок . . . . .                          | 100       | Литература . . . . .   | 161  |
| <b>VII. Нагельные сопряжения</b>  |           | <b>III. Конструктивный строительный подъем</b>   |      |
| Инж. А. В. Лентяшин   |           | Инж. В. Г. Писчиков  |      |
| 1. Типы нагельных соединений . . . . .                                      | 100       | 1. Работа составных балок на податливых соединениях . . . . .                                      | 161  |
| 2. Характеристика работы нагельных соединений . . . . .                     | 100       | 2. Конструктивный строительный подъем первого рода . . . . .                                       | 163  |
|   |           | 3. Конструктивный строительный подъем второго рода . . . . .                                       | 167  |
|   |           | 4. Придание балкам конструктивного строительного подъема . . . . .                                 | 171  |
|   |           | 1) Гвоздевые балки ограниченной высоты прямоугольного двутаврового и коробчатого сечения . . . . . |      |

|   | Стр. |  | Стр.                |
|---|------|--|---------------------|
| 2) Двутавровые балки с перекрестной стенкой . . . . .                         | 172  | <b>IX. Двутавровые гвоздевые балки с перекрестной стенкой</b>                          |                     |
| 3) Двутавровые балки с фанерной стенкой . . . . .                             | 173  |  | Инж. В. Г. Писчиков |
| <b>IV. Коробчатые балки</b>   |      | 1. Общие сведения . . . . .  | 211                 |
| Инж. Д. И. Давыдов  |      | 2. Конструкция и расчет . . . . .  | 211                 |
| 1. Общие сведения . . . . .   | 174  | 1) Пояса . . . . .   | 211                 |
| 2. Расчет коробчатых балок . . . . .  | 174  | 2) Стенка . . . . .  | 212                 |
| 3. Таблицы элементов коробчатых балок . . . . .                               | 175  | 3) Ребра жесткости . . . . .   | 213                 |
| 1) Принципы составления таблиц . . . . .                                      | 175  | 4) Стыки поясов . . . . .  | 213                 |
| 2) Пример пользования таблицами . . . . .                                     | 176  | 5) Конструктивный строительный подъем . . . . .  | 217                 |
| 3) Поверочный расчет балки . . . . .  | 176  | 3. Таблицы двутавровых гвоздевых балок с перекрестной стенкой . . . . .                | 218                 |
| 4. Производство работ . . . . .   | 186  | 1) Принципы составления таблиц . . . . .   | 218                 |
| <b>V. Двутавровые гвоздевые балки со сплошной стенкой ограниченной высоты</b> |      | 2) Расчет балок . . . . .  | 218                 |
| Инж. В. С. Деревягин  |      | 3) Пользование таблицами . . . . .   | 221                 |
| 1. Общие сведения . . . . .   | 187  | 4) Таблицы балок с параллельными поясами . . . . .                                     | 223                 |
| 2. Пример расчета . . . . .   | 187  | 5) Таблицы балок с двускатным и односкатным верхними поясами . . . . .                 | 228                 |
| 3. Определение стрелки строительного подъема . . . . .                        | 187  | 4. Типовой расчет балки с параллельными поясами . . . . .                              | 233                 |
| <b>VI. Балки на косых сосновых шпонах</b>                                     |      | 1) Определение размеров элементов балки . . . . .                                      | 233                 |
| Инж. В. С. Деревягин  |      | 2) Расчет поясных гвоздей . . . . .  | 233                 |
| 1. Общие сведения . . . . .   | 188  | 3) Расчет стыка нижнего пояса . . . . .  | 233                 |
| 2. Пример расчета балки из двух брусьев . . . . .                             | 188  | 4) Стык верхнего сжатого пояса . . . . .   | 235                 |
| 3. Пример расчета балки из трех брусьев . . . . .                             | 189  | 5) Определение средней ординаты кривой конструктивного строительного подъема . . . . . | 235                 |
| <b>VII. Балки прямоугольного сечения на гвоздях</b>                           |      | <b>X. Двутавровые балки с фанерной стенкой</b>   |                     |
| Инж. В. Г. Писчиков   |      | Инж. В. Г. Писчиков  |                     |
| 1. Общие сведения . . . . .   | 190  | 1. Общие сведения . . . . .  | 235                 |
| 2. Таблицы балок прямоугольного сечения на гвоздях . . . . .                  | 190  | 2. Характеристика конструкции и ее особенности . . . . .                               | 236                 |
| 1) Принцип составления таблиц . . . . .                                       | 190  | 1) Поперечное сечение . . . . .  | 236                 |
| 2) Размеры гвоздей . . . . .  | 191  | 2) Фанерные стенки . . . . .   | 236                 |
| 3) Метод расчета балок . . . . .  | 191  | 3) Ребра жесткости . . . . .   | 236                 |
| 4) Конструктивный строительный подъем балок . . . . .                         | 192  | 4) Стыки поясов . . . . .  | 237                 |
| 5) Пример пользования таблицами . . . . .                                     | 192  | 5) Конструктивный строительный подъем . . . . .  | 237                 |
| <b>VIII-А. Балки на пластинчатых нагелях системы Деревягина</b>               |      | 3. Расчет балок . . . . .  | 238                 |
| Инж. В. С. Деревягин  |      | 1) Расчет поясов . . . . .   | 238                 |
| 1. Общие сведения . . . . .   | 197  | 2) Расчет фанерной стенки . . . . .  | 241                 |
| 2. Конструктивные указания . . . . .  | 199  | 3) Расчет гвоздей . . . . .  | 241                 |
| 3. Расчет . . . . .   | 200  | 4) Пример расчета балки с фанерной стенкой . . . . .                                   | 241                 |
| 4. Примеры расчета . . . . .  | 201  | <b>XI. Балочные фермы</b>  |                     |
| 1) Балка из двух брусьев . . . . .  | 201  | Инж. В. Г. Писчиков  |                     |
| 2) Балка из трех брусьев . . . . .  | 201  | 1. Треугольные фермы с местной нагрузкой поясов . . . . .                              | 244                 |
| 5. Инструкция по изготовлению балок . . . . .                                 | 202  | 1) Тавровые балки . . . . .  | 244                 |
| 1) Заготовка пластинчатых нагелей . . . . .                                   | 202  | 2) Шпренгельные балки . . . . .  | 249                 |
| 2) Сборка балок . . . . .   | 202  | 3) Треугольные сближенные фермы . . . . .  | 250                 |
| <b>VIII-Б. Таблицы балок на пластинчатых нагелях системы Деревягина</b>       |      | 2. Треугольные фермы с нагрузкой в узлах . . . . .                                     | 250                 |
| Инж. В. Г. Писчиков   |      | 1) Треугольные фермы с нисходящими раскосами . . . . .                                 | 253                 |
| 1. Область применения таблиц . . . . .  | 203  | 2) Треугольные фермы с восходящими раскосами . . . . .                                 | 262                 |
| 2. Принципы составления таблиц . . . . .                                      | 204  | 3) Треугольные фермы с переменным направлением раскосов . . . . .                      | 264                 |
| 3. Метод расчета балок . . . . .  | 204  | 4) Фермы типа Полонсо . . . . .  | 265                 |
| 4. Вычисление допустимых нагрузок . . . . .                                   | 204  | 5) Примеры ферм треугольного очертания . . . . .                                       | 265                 |
| 5. Конструктивный строительный подъем . . . . .                               | 204  |  |                     |
| 6. Данные о пластинчатых нагелях . . . . .                                    | 204  |  |                     |

|  | Стр. |   | Стр. |
|--|------|---|------|
| 3. Фермы с параллельными поясами. Двускатные фермы с пологими скатами . . . . .  | 274  | 4) Пространственная устойчивость фермы . . . . .                      | 414  |
| 1) Фермы с восходящими раскосами . . . . .                                       | 274  | 5) Типовые проекты арок . . . . .                                     | 414  |
| 2) Фермы с нисходящими раскосами . . . . .                                       | 275  | 3. Трехшарнирные арки на гвоздях . . . . .                            | 416  |
| 3) Фермы с переменным направлением раскосов . . . . .                            | 276  | 1) Пролеты, нагрузки и схемы арок . . . . .                           | 416  |
| 4) Примеры ферм с параллельными поясами, ферм односкатных и двускатных . . . . . | 279  | 2) Сортамент материалов . . . . .                                     | 416  |
| 4. Многоугольные фермы сегментного очертания . . . . .                           | 284  | 3) Конструкция узлов и стержней . . . . .                             | 417  |
| 1) Фермы с трапециевидным фонарем . . . . .                                      | 284  | 4) Связи между фермами . . . . .                                      | 420  |
| 2) Фермы под односкатную кровлю . . . . .  | 285  | 5) Типовые проекты трехшарнирных арок на гвоздях . . . . .            | 421  |
| 5. Усилия в стержнях балочных ферм . . . . .                                     | 286  | <b>XIV. Трехшарнирные арки из сегментных ферм</b>                     |      |
| <b>XII. Сегментные фермы</b>   |      |   |      |
| Инж. В. А. Зама ра ев  |      |   |      |
| 1. Общие сведения . . . . .  | 296  | Инж. В. Г. П и с ч и к о в  |      |
| 1) Характеристика и область применения . . . . .                                 | 296  | 1. Область применения . . . . .                                       | 421  |
| 2) Материал . . . . .  | 296  | 2. Конструкция узлов и стержней . . . . .                             | 421  |
| 2. Схемы ферм . . . . .  | 297  | 3. Требования к материалу . . . . .                                   | 423  |
| 1) Очертание верхнего пояса . . . . .  | 297  | 4. Примеры арочных ферм . . . . .                                     | 428  |
| 2) Высота ферм . . . . .   | 297  | 5. Усилия в стержнях арочных ферм . . . . .                           | 432  |
| 3) Схемы решетки . . . . .   | 297  | <b>XV. Рамные конструкции фонарей промышленных зданий</b>             |      |
| 4) Число панелей . . . . .   | 298  | Инж. А. А. Н о в и к о в  |      |
| 3. Конструкция . . . . .   | 299  | 1. Общие сведения . . . . .   | 436  |
| 1) Верхний пояс . . . . .  | 299  | 1) Область применения . . . . .                                       | 436  |
| 2) Нижний пояс . . . . .   | 301  | 2) Конструкция . . . . .  | 436  |
| 3) Решетка . . . . .   | 302  | 3) Нагрузки . . . . .   | 437  |
| 4) Опорные узлы . . . . .  | 305  | 4) Выбор схемы . . . . .  | 437  |
| 5) Связи между фермами . . . . .   | 309  | 2. Двухшарнирные рамы малых пролетов . . . . .                        | 438  |
| 6) Крепление ферм на опорах . . . . .  | 311  | 1) Конструкция . . . . .  | 438  |
| 7) Строительный подъем . . . . .   | 311  | 2) Метод расчета и его особенности . . . . .                          | 439  |
| 8) Надстройки и несущая конструкция фонаря . . . . .                             | 312  | 3) Определение расчетных величин в двухшарнирной раме . . . . .       | 440  |
| 4. Расчет . . . . .  | 312  | 4) Проект двухшарнирной рамы . . . . .                                | 446  |
| 1) Общие указания . . . . .  | 312  | 5) Подвешивание монорельсовых путей . . . . .                         | 448  |
| 2) Нагрузки . . . . .  | 313  | 3. Рамы шпренгельного типа . . . . .                                  | 450  |
| 3) Определение усилий . . . . .  | 317  | 1) Конструкция . . . . .  | 450  |
| 4) Расчет верхнего пояса . . . . .   | 318  | 2) Метод расчета . . . . .  | 451  |
| 5) Расчет нижнего пояса . . . . .  | 328  | 3) Проект трехшарнирной шпренгельной рамы . . . . .                   | 453  |
| 6) Расчет решетки . . . . .  | 330  | 4. Рамы с криволинейным поясом . . . . .                              | 456  |
| 7) Расчет опорных узлов . . . . .  | 333  | 1) Схемы и конструкция . . . . .                                      | 456  |
| 8) Расчет связей между фермами . . . . .   | 334  | 2) Методы расчета . . . . .   | 457  |
| 5. Примеры проектирования . . . . .  | 335  | 3) Пример проектирования . . . . .                                    | 459  |
| 6. Таблицы сегментных ферм . . . . .   | 350  | 5. Рамы двутаврового сечения с дощатой или фанерной стенкой . . . . . | 466  |
| 1) Общие пояснения . . . . .   | 350  | 1) Схемы . . . . .  | 466  |
| 2) Принципы конструирования . . . . .  | 351  | 2) Конструкция . . . . .  | 468  |
| <b>XIII. Трехшарнирные арки из треугольных ферм</b>                              |      | 3) Особенности расчета . . . . .                                      | 469  |
| <b>РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ</b>  |      |   |      |
| <b>ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ</b>  |      |   |      |
| <b>I. Двойные гнутые своды (Шухова-Брода)</b>                                    |      |   |      |
| Инж. В. А. И в а н о в   |      |   |      |
| 1. Общая характеристика трехшарнирных арок . . . . .                             | 407  | 1. Общие сведения . . . . .   | 475  |
| 1) Отличительные особенности . . . . .   | 407  | 2. Описание элементов конструкции . . . . .                           | 476  |
| 2) Расчет . . . . .  | 407  | 1) Настилы . . . . .  | 476  |
| 3) Конструирование ферм . . . . .  | 409  | 2) Прогонь . . . . .  | 477  |
| 4) Результаты испытаний трехшарнирных арок . . . . .                             | 409  | 3) Мауерлаты . . . . .  | 477  |
| 2. Трехшарнирные арки на дубовых или березовых нагелях . . . . .                 | 409  | 4) Затяжки . . . . .  | 477  |
| 1) Материалы . . . . .   | 411  | 5) Скрепления . . . . .   | 478  |
| 2) Пролеты и нагрузки . . . . .  | 411  | 6) Утепление и кровля . . . . .                                       | 478  |
| 3) Конструкции узлов и стержней . . . . .  | 411  | 7) Фонари . . . . .   | 478  |
|  |      | 3. Проектирование и расчет сводов . . . . .                           | 479  |

|  | <i>Стр.</i> |   | <i>Стр.</i> |
|--|-------------|---|-------------|
| 4. Производство работ . . . . .  | 480         | <b>V. Расчет тонкостенных сводов-оболочек</b>                         |             |
| 1) Возведение свода на лесах . . . . .   | 481         | Инж. В. З. В л а с о в  |             |
| 2) Возведение свода на кружалах . . . . .  | 481         | и инж. А. Л. Г о л ь д е н в е й з е р                                |             |
| 3) Сборка свода из готовых секций . . . . .  | 482         | 1. Моментная теория Дифференциальные уравнения . . . . .              | 548         |
| <b>II. Безметалльные кружально-сетчатые своды</b>  |             | 2. Метод интегрирования дифференциальных уравнений оболочек . . . . . | 552         |
| Инж. В. А. З а м а р а е в   |             | 3. Графики для расчета тонкостенных сводов-оболочек . . . . .         | 556         |
| 1. Общие сведения . . . . .  | 482         | 1) Принятые обозначения . . . . .                                     | 556         |
| 2. Конструкция . . . . .   | 484         | 2) Пояснения к пользованию графиками . . . . .                        | 556         |
| 1) Форма косяков . . . . .   | 484         | 3) Примеры пользования графиками . . . . .                            | 559         |
| 2) Узлы сетки . . . . .  | 484         |   |             |
| 3) Размеры косяков . . . . .   | 485         | <b>VI. Куполы</b>   |             |
| 4) Шипы косяков нецентрированной сетки . . . . .   | 485         | Инж. К. П. К а ш к а р о в  |             |
| 5) Шипы косяков центрированной сетки . . . . .   | 486         | 1. Общие сведения . . . . .   | 583         |
| 6) Опорные узлы . . . . .  | 486         | 2. Плоскостные ребристые куполы . . . . .                             | 583         |
| 7) Торцевые узлы . . . . .   | 487         | 3. Сетчатые куполы . . . . .  | 589         |
| 8) Сетка свода (фиг. 15) . . . . .   | 487         | 4. Тонкостенные оболочки вращения . . . . .                           | 589         |
| 9) Жесткие диафрагмы . . . . .   | 488         | 1) Общая характеристика . . . . .                                     | 589         |
| 3. Геометрический расчет . . . . .   | 488         | 2) Конструкция . . . . .  | 589         |
| 1) Принципы образования кружально-сетчатых сводов . . . . .  | 488         | 3) Расчет . . . . .   | 589         |
| 2) Метод геометрического расчета . . . . .   | 489         | 5. Ребристые оболочки вращения . . . . .                              | 593         |
| 3) Выводы основных формул для расчета сетки . . . . .  | 489         | Общая характеристика . . . . .  | 593         |
| 4) Выводы формул для расчета основных косяков . . . . .  | 492         | 6. Прочие типы куполов . . . . .                                      | 598         |
| 5) Выводы формул для расчета крайних косяков . . . . .   | 496         | 1) Кольчегмассивный купол . . . . .                                   | 601         |
| 6) Выводы формул для расчета врубков в обвязочных брусках . . . . .                                    | 499         | 2) Полусборные и сборные куполы . . . . .                             | 601         |
| 4. Статический расчет . . . . .  | 501         | 7. Производство работ . . . . .                                       | 608         |
| 1) Действующие нагрузки . . . . .  | 501         | Литература . . . . .  | 608         |
| 2) Расчетные схемы . . . . .   | 501         |   |             |
| 3) Определение усилий . . . . .  | 502         | <b>РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ</b>   |             |
| 4) Расчет элементов свода . . . . .  | 504         | <b>КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b>        |             |
| 5. Примеры проектирования . . . . .  | 504         | <b>I. Навесы и сараи</b>  |             |
| <b>III. Своды-оболочки</b>   |             | Доц. Г. А. Ц в и н г м а н  |             |
| Инж. М. Е. К а г а н   |             | 1. Общая технико-экономическая характеристика . . . . .               | 605         |
| 1. Общие сведения . . . . .  | 516         | 2. Однопролетные решения навесов и сараев . . . . .                   | 606         |
| 2. Тонкостенные своды-оболочки . . . . .   | 517         | 3. Двухпролетные навесы и сараи . . . . .                             | 611         |
| 1) Описание конструкции . . . . .  | 517         | 4. Трехпролетные навесы и сараи . . . . .                             | 615         |
| 2) Определение внутренних усилий . . . . .   | 520         | 5. Многопролетные навесы и сараи . . . . .                            | 615         |
| 3) Расчет элементов свода-оболочки . . . . .   | 522         | 6. Консольные и козырьковые навесы . . . . .                          | 618         |
| 4) Производство работ . . . . .  | 530         | Литература . . . . .  | 618         |
| 3. Ребристые своды-оболочки . . . . .  | 530         | <b>II. Склады сыпучих материалов</b>                                  |             |
| 1) Описание конструкции . . . . .  | 530         | Инж. Г. А. Ш т е й м а н  |             |
| 2) Расчет . . . . .  | 538         | 1. Общие указания . . . . .   | 619         |
| 3) Производство работ . . . . .  | 540         | 2. Основные схемы ограждающих частей склада . . . . .                 | 619         |
| Литература . . . . .   | 541         | 3. Конструкции покрытия двускатных складов . . . . .                  | 620         |
| <b>IV. Приближенный метод расчета ребристых сводов-оболочек на симметричную нагрузку</b>               |             | 4. Примеры покрытий складов сыпучих материалов . . . . .              | 624         |
| Инж. А. Б. Г у б е н к о   |             | Литература . . . . .  | 631         |
| 1. Определение моментов — статического, инерции и сопротивления поперечного сечения оболочки . . . . . | 542         | <b>III. Каркасные многэтажные здания</b>                              |             |
| 2. Определение расчетных усилий . . . . .  | 543         | Доц. Г. А. Ц в и н г м а н  |             |
| 3. Расчет ребер жесткости . . . . .  | 544         | 1. Общая характеристика . . . . .                                     | 632         |
| 1) Определение внешних сил, действующих на ребро . . . . .   | 544         | 2. Жилые каркасные здания . . . . .                                   | 632         |
| 2) Определение изгибающих моментов, нормальных и поперечных сил в ребре жесткости . . . . .            | 545         | 3. Производственные каркасные здания . . . . .                        | 633         |
| 3) Расчет ребра жесткости на монтажную нагрузку . . . . .  | 547         | Литература . . . . .  | 636         |
| 4. Расчет торцевого пояса . . . . .  | 548         |   |             |



|  | Стр. |   | Стр. |
|--|------|---|------|
| <b>IV. Башни-оболочки</b>  |      | <b>IX. Связные пустотелые стержни</b>   |      |
| Инж. М. Ф. Ковальчук   |      | Инж. И. Я. Иванов   |      |
| 1. Общие сведения . . . . .  | 637  | 1. Общие сведения . . . . .   | 699  |
| 2. Водонапорная ребристая башня-оболочка . . . . .                 | 637  | 2. Примеры конструкций . . . . .  | 699  |
| 1) Описание . . . . .  | 637  | 1) Деревянные деррик-краны . . . . .  | 703  |
| 2) Расчет . . . . .  | 638  | 2) Триангуляционная вышка . . . . .   | 703  |
| 3) Пример расчета водонапорной башни-оболочки . . . . .            | 642  | 3. Проектирование и расчет . . . . .  | 703  |
| 3. Тонкостенная башня-оболочка (градирня) . . . . .                | 646  | 1) Основные указания . . . . .  | 703  |
| 1) Описание . . . . .  | 646  | 2) Порядок расчета . . . . .  | 705  |
| 2) Расчет . . . . .  | 647  | 3) Определение геометрических размеров стержня . . . . .                      | 705  |
| 3) Пример расчета тонкостенной башни-оболочки (градирни) . . . . . | 650  | 4) Расчет соединительных элементов . . . . .                                  | 706  |
|  |      | Литература . . . . .  | 706  |
| <b>V. Башни системы Шухова</b>                                     |      | <b>X. Подкрановые балки</b>   |      |
| Инж. М. Ф. Ковальчук   |      | Инж. В. А. Замараев   |      |
| 1. Общие сведения . . . . .  | 657  | 1. Общие сведения . . . . .   | 706  |
| 2. Расчет . . . . .  | 657  | 1) Область применения . . . . .   | 706  |
| 3. Пример расчета водонапорной башни высотой 16,7 м . . . . .      | 660  | 2) Материал . . . . .   | 707  |
| Литература . . . . .   | 668  | 3) Конструктивные схемы . . . . .   | 707  |
|  |      | 4) Техничко-экономическое сопоставление балок различной конструкции . . . . . | 707  |
| <b>VI. Сельскохозяйственные мокрые силосные башни</b>              |      | 2. Брусчатая балка . . . . .  | 708  |
| Док. Г. А. Цвингман  |      | 1) Общие сведения . . . . .   | 708  |
| 1. Общие сведения . . . . .  | 668  | 2) Расчет . . . . .   | 708  |
| 2. Классификация . . . . .   | 669  | 3. Балка на пластинчатых нагелях . . . . .                                    | 709  |
| 3. Конструкция . . . . .   | 669  | 1) Принципы конструирования и расчета . . . . .                               | 709  |
| 4. Расчет . . . . .  | 670  | 2) Пример расчета . . . . .   | 710  |
| 5. Гнuto-настильные башни со стойками . . . . .                    | 670  | 4. Шпренгельная балка . . . . .   | 712  |
| 6. Клепочно-обручные башни . . . . .                               | 673  | 1) Конструкция . . . . .  | 712  |
| 7. Рубленые многогранные башни . . . . .                           | 675  | 2) Статический расчет . . . . .   | 712  |
| Литература . . . . .   | 676  | 3) Пример расчета . . . . .   | 715  |
|  |      | 5. Балка системы Гау . . . . .  | 716  |
| <b>VII. Деревянные резервуары</b>                                  |      | 1) Конструкция . . . . .  | 716  |
| Инж. М. Ф. Ковальчук   |      | 2) Статический расчет . . . . .   | 717  |
| 1. Общие сведения . . . . .  | 677  | 3) Пример расчета . . . . .   | 719  |
| 2. Материал . . . . .  | 677  | 6. Ригельно-подкосная балка . . . . .   | 722  |
| 3. Конструкция резервуаров . . . . .                               | 677  | 1) Конструкция . . . . .  | 722  |
| 1) Стенки . . . . .  | 677  | 2) Статический расчет . . . . .   | 722  |
| 2) Днище . . . . .   | 678  | 3) Пример расчета . . . . .   | 723  |
| 3) Хомуты . . . . .  | 678  | 7. Двутавровая балка с перекрестной стенкой . . . . .                         | 725  |
| 4. Расчет хомутов . . . . .  | 679  | 1) Конструкция . . . . .  | 725  |
| 5. Примеры деревянных резервуаров . . . . .                        | 681  | 2) Статический расчет . . . . .   | 727  |
| Литература . . . . .   | 681  | 3) Пример расчета . . . . .   | 728  |
|  |      | 8. Параболическая балка . . . . .   | 730  |
| <b>VIII. Мачты на оттяжках</b>                                     |      | 1) Конструкция . . . . .  | 730  |
| Инж. В. Г. Писчиков  |      | 2) Статический расчет . . . . .   | 732  |
| 1. Условия работы мачт . . . . .                                   | 682  | 3) Пример расчета . . . . .   | 733  |
| 2. Основы расчета гибкой нити . . . . .                            | 682  | 9. Крепление рельсов . . . . .  | 734  |
| 3. Ход расчета мачт на оттяжках . . . . .                          | 685  |   |      |
| 4. Расчет оттяжек мачты . . . . .                                  | 685  | <b>XI. Эстакады и галереи</b>   |      |
| 5. Расчет конструкции тела мачты . . . . .                         | 689  | Инж. С.М. Жак и инж. И. И. Оршанский  |      |
| 6. Крепление оттяжек к мачте и анкеру . . . . .                    | 691  | 1. Определение и классификация . . . . .                                      | 785  |
| 7. Разбивка мачты на пролеты и размещение анкеров . . . . .        | 692  | 1) Пешеходные эстакады . . . . .  | 785  |
| 8. Расчет и конструкция анкеров . . . . .                          | 694  | 2) Эстакады под транспортеры и вагогонетки . . . . .                          | 785  |
| 1) Массивные анкеры . . . . .                                      | 694  | 2. Конструкция . . . . .  | 786  |
| 2) Железобетонные анкеры . . . . .                                 | 694  | 1) Пролетное строение . . . . .   | 786  |
| 9. Фундаменты мачт . . . . .                                       | 696  | 2) Ограждения . . . . .   | 788  |
| 10. Сборка и подъемка мачт . . . . .                               | 696  | 3) Опоры и фундаменты . . . . .   | 743  |
| 11. Уход за мачтами . . . . .                                      | 698  | 3. Разбивка на пролеты и выбор типа пролетного строения и опор . . . . .      | 744  |
|  |      | 4. Расчет элементов конструкции . . . . .                                     | 745  |
|  |      | 5. Особенности конструирования, возведения и эксплуатации . . . . .           | 746  |

|   | Стр. |  | Стр. |
|---|------|--|------|
| 1) Предохранение от загнивания . . .  | 746  | Приложение   |      |
| 2) Противопожарные мероприятия . . .  | 746  | Данные о затрате материалов (дерева и металла) для деревянных автодорожных мостов . . . . .                                | 797  |
| 3) Особенности конструирования . . .  | 747  | Литература . . . . .   | 800  |
| 6. Примеры проектов . . . . .   | 747  |  |      |
| Литература . . . . .  | 755  |  |      |
| <b>ХII. Мосты малых и средних пролетов</b>  |      |  |      |
| Проф. Е. Е. Г и б ш м а н   |      |  |      |
| 1. Общие сведения о мостах . . . . .  | 755  | <b>ХIII. Сложные системы плоскостных конструкций в приложении их к мостостроению больших пролетов</b>                      |      |
| 1) Основные понятия . . . . .   | 755  | Инж. В. В. Б о л ь ш а к о в   |      |
| 2) Основные требования, предъявляемые к мосту . . . . .                                     | 758  | 1. Введение . . . . .  | 800  |
| 3) Защита мостов от загнивания . . . . .  | 759  | 1) Период расцвета деревянного мостостроения . . . . .   | 800  |
| 2. Основные данные для проектирования деревянных мостов . . . . .                           | 759  | 2) Упадок деревянного инженерного строительства . . . . .  | 800  |
| 1) Определение генеральных размеров моста . . . . .   | 759  | 3) Возрождение инженерных деревянных конструкций в новых формах . . . . .  | 802  |
| 2) Расчетные нагрузки . . . . .   | 760  | 4) Современное положение деревянного большепролетного мостостроения в СССР . . . . .                                       | 802  |
| 3) Габариты проезда . . . . .   | 760  | 2. Сложные комбинированные системы мостов больших пролетов . . . . .   | 803  |
| 4) Подмостовые габариты и судоходные требования . . . . .                                   | 760  | 1) Характеристика . . . . .  | 803  |
| 3. Балочные мосты . . . . .   | 760  | 2) Области применения различных комбинированных систем . . . . .   | 803  |
| 1) Простейшие балочные мосты . . . . .  | 760  | 3) Распорные системы . . . . .   | 804  |
| 2) Многопролетные балочные мосты . . . . .  | 762  | 4) Безраспорные системы . . . . .  | 806  |
| 3) Балочные мосты с составными прогонами . . . . .  | 765  | 5) Генеральные размеры . . . . .   | 806  |
| 4) Балочные мосты с одноярусными прогонами . . . . .  | 765  | 6) Методы расчета комбинированных систем . . . . .   | 807  |
| 5) Расчет балочных мостов . . . . .   | 765  | 7) Прогиб комбинированных систем . . . . .   | 811  |
| 4. Мосты подкосных систем . . . . .   | 767  | 3. Основные предпосылки для применения сложных комбинированных систем в деревянных конструкциях больших пролетов . . . . . | 812  |
| 1) Мосты трапецидально-подкосной системы . . . . .  | 767  | 1) Криволинейность верхнего пояса . . . . .  | 812  |
| 2) Мосты ригельно-подкосной системы . . . . .   | 769  | 2) Простота конструкции . . . . .  | 812  |
| 3) Мосты комбинированных подкосных систем . . . . .   | 770  | 3) Возможность перераспределения усилий . . . . .  | 813  |
| 4) Мосты арочно-подкосной системы . . . . .   | 772  | 4) Удобство конструктивной защиты от гниения . . . . .   | 815  |
| 5. Арочные мосты . . . . .  | 774  | 4. Принципы конструирования . . . . .  | 816  |
| 1) Общие сведения . . . . .   | 774  | 1) Принцип дробности в сечениях элементов . . . . .  | 816  |
| 2) Конструкция . . . . .  | 774  | 2) Принцип дробности в сопряжениях . . . . .   | 816  |
| 3) Расчет . . . . .   | 776  | 3) Методы борьбы с гниением как результатом дифференциальной конденсации . . . . .   | 817  |
| 6. Деревянные трубы . . . . .   | 776  | 4) Методы борьбы с пожарной опасностью . . . . .   | 817  |
| 1) Общие сведения . . . . .   | 776  | 5. Проект городского моста пролетом $l = 200$ м . . . . .  | 818  |
| 2) Конструкция . . . . .  | 776  | 1) Общие данные . . . . .  | 818  |
| 7. Мосты с решетчатыми фермами . . . . .  | 777  | 2) Конструкция проезжих частей . . . . .   | 819  |
| 1) Общие сведения . . . . .   | 777  | 3) Несущая конструкция . . . . .   | 823  |
| 2) Подвесные мосты . . . . .  | 777  | 4) Связи . . . . .   | 826  |
| 3) Мосты системы Гау . . . . .  | 778  | 5) Опоры . . . . .   | 826  |
| 4) Мосты системы Тауна . . . . .  | 784  | 6) Защита от гниения и противопожарные мероприятия . . . . .   | 828  |
| 8. Опоры деревянных мостов средних пролетов . . . . .                                       | 786  | 7) Сборка и установка . . . . .  | 828  |
| 1) Общие сведения . . . . .   | 786  | 8) Технико-экономические данные . . . . .  | 831  |
| 2) Свайные опоры . . . . .  | 786  | 6. Мост пролетом $l = 84$ м под автогужевую дорогу . . . . .   | 833  |
| 3) Рамные опоры . . . . .   | 788  | 1) Общие данные . . . . .  | 833  |
| 4) Ряжевые опоры . . . . .  | 789  | 2) Конструкция проезжей части . . . . .  | 833  |
| 5) Ледорезы . . . . .   | 789  |  |      |
| 9. Особенности деревянных мостов в районах вечной мерзлоты . . . . .                        | 792  |  |      |
| 1) Общие сведения . . . . .   | 792  |  |      |
| 2) Меры, предохраняющие деревянные мосты от деформаций в условиях вечной мерзлоты . . . . . | 792  |  |      |
| 3) Особенности постройки мостов в районах вечной мерзлоты . . . . .                         | 793  |  |      |
| 10. Наплавные мосты . . . . .   | 793  |  |      |
| 1) Общие сведения . . . . .   | 793  |  |      |
| 2) Плотовые мосты . . . . .   | 793  |  |      |
| 3) Понтонные мосты . . . . .  | 794  |  |      |
| 4) Плашкоутные мосты . . . . .  | 794  |  |      |

|   | Стр. |
|---|------|
| 3) Несущая конструкция . . . . .              | 835  |
| 4) Связи . . . . .                            | 843  |
| 5) Сборка и установка . . . . .               | 843  |
| 6) Технико-экономические показатели . . . . . | 847  |
| Литература . . . . .                          | 848  |

## РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

## ЗАЩИТА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## I. Борьба с гниением, животными-вредителями древесины и пожарной опасностью

Проф. Г. Г. Карлсен и проф. К. А. Попов

|   |     |
|---|-----|
| 1. Вводная часть . . . . .  | 819 |
| 2. Консервирование древесины . . . . .  | 850 |
| 1) Общие указания . . . . .   | 850 |
| 2) Антисептики . . . . .  | 852 |
| 3) Способы консервирования . . . . .  | 852 |
| 4) Выбор антисептика и способа консервирования . . . . .                      | 856 |
| 3. Предохранение древесины от разрушения насекомыми и древоточцами . . . . .  | 856 |
| 1) Вредители древесины . . . . .  | 856 |
| 2) Меры борьбы с вредителями древесины . . . . .                              | 857 |
| 4. Строительные меры борьбы с гниением . . . . .                              | 858 |
| 1) Общие сведения . . . . .   | 858 |
| 2) Конденсационные процессы . . . . .   | 858 |
| 3) Борьба с конденсационными процессами в массивных конструкциях . . . . .    | 860 |
| 4) Борьба с конденсационными процессами в ограждающих частях зданий . . . . . | 866 |
| 5. Борьба с пожарной опасностью . . . . .                                     | 866 |
| 1) Общие указания . . . . .   | 866 |
| 2) Пропитка древесины растворами антипиренов . . . . .                        | 866 |
| 3) Выводы . . . . .   | 867 |
| Литература . . . . .  | 870 |

## II. Эксплуатация деревянных конструкций и сооружений

Инж. Ю. М. Иванов

|   |     |
|---|-----|
| 1. Влияние режима эксплуатации на работу конструкции . . . . .          | 871 |
| 1) Действующая нагрузка . . . . .                                       | 872 |
| 2) Состояние древесины . . . . .  | 872 |
| 3) Состояние соединений . . . . .                                       | 872 |
| 4) Влияние нарастания деформаций . . . . .                              | 873 |
| 5) Требования к конструкции . . . . .                                   | 873 |
| 6) Требования к материалу и выполнению . . . . .                        | 874 |
| 2. Наблюдение за конструкцией в эксплуатации . . . . .                  | 875 |
| 1) Задачи наблюдения . . . . .  | 875 |
| 2) Измерения . . . . .  | 875 |
| 3) Анализ результатов . . . . .   | 876 |
| 3. Ремонт, усиление и восстановление поврежденных конструкций . . . . . | 876 |
| 1) Разгрузка конструкций . . . . .                                      | 876 |
| 2) Частичное усиление . . . . .   | 877 |
| 3) Полное усиление и восстановление . . . . .                           | 877 |

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ  
ПРИЛОЖЕНИЯ

## I. Лесные ресурсы СССР

Инж. Н. Е. Иванова

|   |     |
|---|-----|
| 1. Распределение и характеристика лесных ресурсов . . . . . | 879 |
| 2. Основные древесные породы . . . . .                      | 882 |
| 1) Хвойные породы . . . . .                                 | 882 |
| 2) Лиственные породы . . . . .                              | 884 |
| Литература . . . . .  | 886 |

## II. Заготовка, транспортировка, хранение, сушка и обработка древесины

Инж. А. М. Баракс

|   |     |
|---|-----|
| 1. Общие сведения . . . . .                                   | 886 |
| 2. Заготовка . . . . .  | 887 |
| 1) Валка леса . . . . .                                       | 887 |
| 2) Лесной транспорт . . . . .                                 | 889 |
| 3) Выгрузка, сортировка и хранение древесины . . . . .        | 895 |
| 4) Первичная обработка древесины . . . . .                    | 897 |
| 3. Сушка древесины . . . . .                                  | 901 |
| 1) Общие положения . . . . .                                  | 901 |
| 2) Воздушная сушка . . . . .                                  | 902 |
| 3) Камерная сушка . . . . .                                   | 904 |
| 4. Вторичная обработка древесины на раскройном цехе . . . . . | 911 |
| 1) Общие сведения . . . . .                                   | 911 |
| 2) Транспортирование пиломатериала с завода . . . . .         | 912 |
| 3) Обработка полуфабрикатов на стройдворах . . . . .          | 912 |
| 4) Цех и его основное оборудование . . . . .                  | 912 |
| 5) Сборочный цех . . . . .                                    | 917 |
| Литература . . . . .  | 917 |

## III. Испытание деревянных конструкций и сооружений

Инж. Ю. М. Иванов

|   |     |
|---|-----|
| 1. Общие положения . . . . .                                    | 918 |
| 2. Осмотр конструкции перед испытанием . . . . .                | 919 |
| 1) Цель осмотра . . . . .                                       | 919 |
| 2) Проверка размеров . . . . .                                  | 919 |
| 3) Качество выполнения . . . . .                                | 919 |
| 4) Качество материала . . . . .                                 | 919 |
| 3. Испытательная установка . . . . .                            | 922 |
| 1) Требования . . . . .   | 922 |
| 2) Боковая устойчивость . . . . .                               | 922 |
| 3) Передача нагрузки . . . . .                                  | 922 |
| 4) Загрузочный материал . . . . .                               | 928 |
| 5) Опоры . . . . .  | 929 |
| 6) Опорные рамы . . . . .                                       | 929 |
| 4. Измерение деформаций . . . . .                               | 930 |
| 1) Общие деформации . . . . .                                   | 930 |
| 2) Местные деформации . . . . .                                 | 932 |
| 5. Испытания статической нагрузкой . . . . .                    | 933 |
| 1) Размер испытательной нагрузки . . . . .                      | 933 |
| 2) Порядок нагружения . . . . .                                 | 933 |
| 3) Производство измерений . . . . .                             | 934 |
| 6. Осмотр во время и после испытания . . . . .                  | 934 |
| 1) Осмотр во время испытаний . . . . .                          | 934 |
| 2) Осмотр после испытаний . . . . .                             | 934 |
| 7. Обработка результатов измерений . . . . .                    | 935 |
| 8. Оценка работы конструкций по результатам испытаний . . . . . | 935 |
| 1) Испытание расчетной нагрузкой . . . . .                      | 935 |
| 2) Испытание до разрушения . . . . .                            | 937 |
| Литература . . . . .  | 937 |
| IV. Проект ОСТ «Деревянные конструкции»                         | 937 |
| Алфавитно-предметный указатель . . . . .                        | 941 |