

Ф.Г. Коломоец

# ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Пособие для исследователей, управленцев  
и студентов вузов

Минск  
Тесей  
2006

УДК 519.85  
ББК 22.18  
К61

*Рецензенты:*

д-р техн. наук, проф., действит. член Академии воен. наук РФ  
**С.А. Савенко;**  
д-р техн. наук, проф. ГУ «Научн.-исслед. ин-т Вооружен. Сил  
Республики Беларусь» **А.Н. Семашко**

**Коломоец, Ф.Г.**

К61 Основы системного анализа и теории принятия решений:  
пособие для исследователей, управленцев и студентов ву-  
зов / Ф.Г. Коломоец. — Мн.: Тесей, 2006. — 320 с.  
ISBN 985-463-181-8.

В книге излагаются основные положения системного подхода, анализа и теории принятия решений, а также положения квалиметрии и теории эффективности, имеющие методологическую значимость.

Проводится классификация задач принятия решений, рассматриваются подходы и методы анализа задач однокритериального выбора в условиях определенности, основные положения и методы теории принятия решений при многих критериях; исследуется применение метода анализа иерархий и теории принятия решений для разработки методики оценки результатов научной деятельности организаций и структурных подразделений, а также ее упрощенного варианта.

Книга рассчитана на ученых, преподавателей вузов, магистрантов, а также студентов вузов, изучающих системный анализ и методы теории принятия решений при многих критериях, практиков и системных аналитиков, деятельность которых связана с обоснованием решений по сложным слабо- и неструктурированным проблемам.

УДК 519.85  
ББК 22.18

ISBN 985-463-181-8

© Коломоец Ф.Г., 2006  
© Тесей, 2006

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Окружающий человека мир многогранен и динамичен. Он представляет собой сложнейшую самоорганизующуюся систему, законы эволюции которой познать непросто. Общество, страны, коллективы и отдельные индивиды обречены жить в этом мире. Некоторые из них процветают, достигают благополучия и высокого уровня жизни. Другие живут средне. Третьи, если и не влачат жалкое существование, то не благоденствуют, иногда выживают. А ведь в подсознании каждого человека заложено стремление к обеспеченной и счастливой жизни в духе известного высказывания В.Г. Короленко: «Человек рожден для счастья как птица для полета». В этой связи для многих народов и индивидов, не сумевших достичь достойного уровня жизни, остаются актуальными извечные вопросы «Кто виноват?» и «Что делать?».

На первый вопрос в самом общем виде можно ответить, что виновником недостаточного благополучия является достигнутый конкретной страной уровень культуры. В широком плане культура представляет собой систему ценностей и норм, знаний и умений, социальных институтов, техники и технологий, искусства, верований, обычаев и др. В ней одним из ведущих является духовный фактор — общественное сознание, в котором основную роль играют выработанные обществом идеология, политическое и правовое сознание, философия, наука, моральные нормы и ценности, искусство.

Особую значимость для судеб стран и народов имеет высший уровень общественного сознания — идеология. Она представляет собой систему политических, правовых, нравственных, религиозных, эстетических, философско-мировоззренческих и других идей, теорий и взглядов, в которых выражается отношение людей к природе, социальной действительности и друг к другу [1]. Идеология разрабатывается теоретиками и может быть направлена на утверждение или преобразование существующих общественных отношений.

На постсоветском пространстве у некоторых социальных слоев выработалось устойчивое неприятие идеологии, можно даже сказать, идеологофобия. Например, в 2003 г. Институтом социально-политических исследований при Администрации Президента Республики Беларусь были опубликованы результаты социологического опроса на тему «Мое отношение к идеологической работе». Они показали, что самый большой процент ее противников оказался среди предпринимателей-фермеров (около 29,2%) и безработных (около 17,9%). Это обусловлено, видимо, недопониманием ими сущности идеологии, ее роли для жизнедеятельности общества и государства.

Ведь идеология фактически призвана разработать основные черты будущего общества и государства, систему общих для всего народа идеалов и ценностей. Она должна основываться на новейших достижениях философской и научной мысли, дать облик экономики, политической и правовой системы, системы нравственных норм и ценностей, других важных сторон жизни, соответствующих законам общественного развития и основывающихся, прежде всего, на общечеловеческих ценностях, учитывающих интересы всех классов и социальных групп общества.

Роль идеологии для общества и государства первостепенная. Это обуславливается тем, что идеология связана с определением основных целей развития общества и человека. Отсутствие объективных идеологических разработок означает отсутствие четких целей в развитии, стихийный поиск его путей, что неизбежно связано со значительными затратами ресурсов и времени. Особую опасность таит в себе разработка и попытка реализации неправильной идеологии, не учитывающей законы общественного развития или противоречащей им. Ярким примером катастрофических последствий такой идеологии является быстрый крах режимов Германии, Италии и Японии, взявших на вооружение крайне антигуманную фашистскую идеологию. Как и последующее возрождение данных государств после сокрушительных поражений во второй мировой войне, ставшее возможным только после очищения и выработки разумных национальных идеологий, давших социальные и духовные идеалы обществу и сплотивших народы этих стран.

Все это убедительно показывает, насколько важно для общества и государства сформировать рациональную идеологию и осуществлять ее корректуру в соответствии с изменяющимися реалиями. Провести такую работу непросто, так как необходимо познать законы общественного развития и осуществить на их основе долгосрочное прогнозирование. Следовательно, разработка и перио-

дическая корректура научно обоснованной идеологии является центральной и очень сложной проблемой, которую должны решать общество и государство. Рациональная идеология и основанный на ней правильный выбор стратегических целей являются необходимым условием успешного прогресса общества и государства.

Достаточное условие поступательного и устойчивого развития общества заключается в необходимом и непрерывном решении проблем, возникающих в различных сферах деятельности, на различных ее иерархических уровнях. При этом первостепенная роль в решении самых разнообразных проблем принадлежит управленческой деятельности на всех уровнях, основывающейся на принятии решений, разработке и реализации программ. Успешное решение проблем возможно только при наличии достаточных научных парботок и умелого их использования. Самое общее требование науки к принимаемым решениям и программам вытекает из верного понимания соотношения природы и деятельности человека и общества. Давно ушли времена, когда человек считал себя единственным в мире разумным существом, которое призвано покорять природу, переделывать и брать от нее как можно больше. Природа не является пассивной субстанцией, она обладает механизмами самоорганизации. Человек — ее частица. Общество должно изучать законы природы, осторожно и умело встраиваться в окружающую действительность.

Таким образом, ответ на вопрос «Кто виноват?» ясен. Виноват невысокий уровень культуры в конкретном обществе и государстве, не позволивший выработать рациональную идеологию, правильно определить стратегические цели развития. Виноваты недостаточный уровень научного обеспечения деятельности, прежде всего управленческой, недооценка рекомендаций науки, что приводило к принятию волевых решений и программ по различным проблемам в развитии общества и человека.

Не менее ясен ответ и на вопрос «Что делать?». Для прогресса в развитии страны иного не дано, кроме как непрерывно заботиться о повышении культуры, понимаемой в широком плане, выработать рациональную идеологию, правильно определить стратегические цели, обеспечить научное обоснование решений, программ и планов по насущным проблемам жизни и деятельности человека, общества и государства.

Вышеизложенное еще раз подчеркивает, что все сферы и уровни человеческой деятельности пронизывает обоснование решений по самым разнообразным проблемам. Решения принимаются в высших эшелонах государственной власти по распределению бюджетных средств, о развитии приоритетных отраслей промышленности

и сельского хозяйства, направлений науки, образования, медицинского обеспечения и др. В деятельности банков, корпораций и фирм принимаются решения о распределении кредитов, строительстве предприятий, выпуске конкретных образцов продукции и т.д. В обыденной жизни люди принимают решения о покупках тех или иных товаров, жилья, дач, автомобилей, выборе спутника жизни, профессии, учебного заведения, книг и др.

Проблемы, с которыми сталкиваются люди, как правило, сложны, пути и способы их решения редко очевидны. В этой связи в середине XX в. на основе теории систем сформировалось направление методологии специально-научных исследований и практики — системный подход. Его методической конкретизацией является системный анализ, который представляет собой синтез науки и искусства и предназначен для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам самой различной природы и характера. Он объединяет в едином процессе подготовки и обоснования решений много различных методов. В настоящее время его направления, варианты и этапы настолько определены, что имеются основания для выделения системно-аналитического образца разрывывания исследований [2, 3].

Системный подход и системный анализ имеют большую значимость для теории и практики. В этой связи их положения рассматривались во многих работах [3–12 и др.]. Вместе с тем нередко в них рассмотрение процедур системного анализа осуществляется применительно к обоснованию конкретных проблем, относящихся к различным областям деятельности человека и общества, часто со сложным математическим аппаратом и специфической детализацией, которая несколько затеняет его суть и основные этапы. Никто не оспаривает такой подход при решении конкретной проблемы с участием большого коллектива специалистов. Однако для лиц, принимающих решения, их помощников и специалистов по системному анализу важно знать не детали, не сложные математические зависимости, так как их знание — прерогатива специалистов-математиков. Для главных действующих лиц в системном анализе очень важно глубокое понимание сути исследуемых проблем и ключевых процедур подготовки и обоснования решений. Это возможно только при отвлечении от частных, которых может быть для различных проблем немало, и рассмотрении положений и этапов системного анализа в обобщенном виде, можно сказать, на общенаучном и обще практическом уровне.

Не всегда акцентируется внимание на роль и значимость в системном анализе методов квалиметрии и теории эффективности и невозможность его проведения без теории принятия решений.

А ведь различные варианты современного системного анализа как самостоятельные и завершённые циклы исследований без указанных отраслей знаний изучить невозможно. В этой связи имеется необходимость рассмотрения системно-аналитических процедур в комплексе с самыми основными положениями квалиметрии, теорий эффективности и принятия решений при многих критериях, носящих методологический характер. Практика применения системного анализа также показала, что имеется необходимость уточнения некоторых его положений, касающихся четкого выделения основных направлений и вариантов, определения типа и классификации проблем.

Важное место в арсенале специалистов по системному анализу занимает метод анализа иерархий, являющийся сравнительно доступным, в том числе с точки зрения финансовых и материальных затрат, методическим средством решения многих неструктуризованных и слабоструктуризованных проблем. Его возможности иногда занижаются. В этой связи имеется необходимость в уточнении областей его применения, в демонстрации на примерах возможностей данного метода. В том числе при разработке с использованием метода анализа иерархий и методов теории принятия решений при многих критериях методики оценки результатов научной деятельности организаций и структурных подразделений, а также подходов к формированию ее упрощенного варианта. Обоснование методики оценки результатов является актуальным вопросом, так как оценка предусмотрена нормативными правовыми актами, в которых изложен лишь методический подход к оценке.

Целью автора была разработка пособия по системному анализу и теории принятия решений при многих критериях на общенаучном уровне для лиц, принимающих решения, специалистов-практиков и исследователей с учетом современных наработок в этих отраслях знаний.

Автор выражает искреннюю признательность и благодарность рецензентам за ряд ценных рекомендаций и замечаний по содержанию книги.

*Системный анализ «не следует путать ни с искусством, ни с естественными науками, ни с математикой. Это сложный вид деятельности, в котором успех зависит от правильного сочетания всех этих трех средств познания...»*

*Д.К. Джонс*

## **Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА**

### **1.1. Характеристика теоретических основ системного подхода**

Теоретические основы системного подхода в данной работе будут рассмотрены в предельно сжатом виде, который позволит отразить его суть, принципы и аспекты. Это обусловлено тем, что главная цель работы заключается в изложении основных положений системного анализа и теории принятия решений.

Первые системные идеи зародились примерно за 2500–2000 лет до н. э. в античной философии [1, 6]. Они состояли в истолковании системы как упорядоченности и целостности бытия. В древнегреческой философии усилиями, прежде всего, Демокрита (460–360 до н. э.), Платона (427–347 до н. э.), Аристотеля (384–322 до н. э.), стоиков, Евклида (330–277 до н. э.) разрабатывались представления о системности знания [1]. В дальнейшем системные взгляды развивались в эпоху Возрождения (XIV–XVI вв.), среди которых важное место занимают системные идеи Н. Коперника (1473–1543).

В связи с выделением из философии в XVI–XVII вв. науки и ее бурном развитии, несмотря на преобладание в классической науке тенденции к дифференциации отраслей знания, концепция системности пробивала себе дорогу. Значительный вклад в нее внесли идеи Г. Галилея (1564–1642), Б. Спинозы (1632–1677), Г. Лейбница (1646–1716), И. Ньютона (1642–1727), К. Линнея (1707–1778), И. Ламберта (1728–1777). Принципы системности, прежде всего знания, разрабатывались в немецкой классической философии усилиями И. Канта (1724–1804), И. Фихте (1762–1814), Г. Гегеля (1770–1831). Со второй половины XIX в. понятие системы начало пропускать в различные отрасли науки. Особую значимость в этом плане имело создание эволюционной теории Ч. Дарвиным (1809–1882), открытие периодического закона хими-



ческих элементов Д.И. Менделеевым (1834–1907), разработка теории относительности, квантовой физики, структурной лингвистики и др. [1]. Существенный вклад в развитие системных идей внесли в последующем теоретики марксизма и западная философия.

Вместе с тем, под влиянием успехов естествознания и технических наук, у определенной части ученых и практиков в конце периода классической науки (в конце XIX в.) сложилось особое мнение. Оно заключалось в том, что человечество может безраздельно властвовать над природой, переустраивать среду обитания в угоду своим растущим потребностям без каких-либо ограничений, использовать для лечения людей сильнодействующие препараты и т.д. Однако постоянно отмечались многочисленные факты, которые свидетельствовали о том, что некоторые, на первый взгляд, благонамеренные решения и действия дают отрицательные результаты, что природа, общество и сам человек представляют собой сложные взаимозависимые и взаимодействующие целостности, неразумное вмешательство в существование и развитие которых чревато весьма серьезными отрицательными последствиями.

Например, уничтожали большую часть хищников с целью обезопасить травоядных и увеличить их численность, а получали обратный эффект — численность полезных животных уменьшалась из-за роста числа заболеваний и падежа. Завезли англичане в Австралию при колонизации кроликов, а теперь там их около 100 миллионов особей, они поедают почти всю растительность, и аборигены находятся на грани вымирания. Уничтожили в сравнительно недалеком прошлом значительную часть воробьев в Китае для уменьшения потерь урожая, а эти потери существенно возросли, так как воробышки, оказывается, приносили пользу, уничтожая мелких вредителей культурных растений. Использовали для орошения полей в Средней Азии основную часть вод Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи и получили катастрофические экологические последствия в районе бывшего Аральского моря. Осушили во времена СССР болота в белорусском Полесье, а теперь решается дорогостоящая проблема их восстановления.

Особо следует отметить проблемы лечения людей. Сравнительно давно было замечено, что при применении высокоэффективных лекарственных препаратов, например антибиотиков, инфекционные болезни излечивались, но при этом сильными препаратами поражались другие органы в духе популярного афоризма медиков: «Одно лечим, а другое калечим». Недаром в развитых странах существует институт семейных врачей, которые знают генетические особенности своих пациентов, отслеживают состояние

их здоровья и осуществляют лечение с учетом не только конкретного заболевания, но и индивидуальных особенностей каждого организма как сложной открытой системы.

Подобных примеров благих намерений и негативных последствий можно привести очень много. Недаром народная мудрость предостерегает от поспешных непродуманных решений и действий: «Благими намерениями устлана дорога в ад».

Наблюдение и изучение фактов, свидетельствующих о системности реальности, заставило ученых сделать вывод о том, что в действительности все взаимосвязано, что она представляет собой сложнейшую суперсистему, включающую гигантское множество взаимозависимых и взаимодействующих непростоим образом подсистем и элементов. Любая деятельность человечества должна сообразовываться с закономерностями ее строения, функционирования и развития. В результате научных изысканий примерно в середине XX в. в общих чертах был сформирован системный подход как важное методологическое направление специально-научных исследований и социальной практики. Он основывался, прежде всего, на положениях философии применительно к изучению объектов-систем, общей теории систем и ряда частных системных теорий [4, 6, 10, 12].

Исходным философским положением, на котором основывается системный подход, является философский принцип системности действительности. Этот принцип тесно связан с такими важнейшими принципами диалектики, как принцип всеобщей связи и взаимодействия, принцип развития, принцип качественного различия части и целого. Однако системный подход как специальная общенаучная методологическая концепция находится с диалектикой в естественном отношении субординации: он выступает как конкретизация принципов диалектики применительно к исследованию, проектированию и созданию объектов-систем [1, 4, 11, 12].

Значительная часть идей общей теории систем и частично кибернетики впервые была выражена, хотя и в несколько специфической форме, врачом, философом и экономистом А.А. Богдановым (1873–1928) в работе «Всеобщая организационная наука (тектология)» (ч. I–III; 1913–1922) [5, 6, 13]. Исходной идеей тектологии является представление действительности как бесконечного числа форм разных типов и уровней организованности, т.е. системности. При этом под организованностью понимается свойство целого быть больше (по терминологии А.А. Богданова, сильнее) его частей. Причем чем больше организованность целого, тем больше оно разнится от суммы частей. Любую систему необходимо изучать как с точки зрения отношений ее частей, так и отношений ее

как целого со всеми внешними системами — средой. Для всех систем законы организованности едины: любые объекты объединяются общими структурными связями и закономерностями. Все явления тектология рассматривает как развивающиеся процессы организации и дезорганизации через положительный (прогрессивный) и отрицательный отбор. Основные положения тектологии являются системными, роднят ее с кибернетикой (идея изоморфизма, обратной связи и др.), синергетикой, теорией катастроф и др. [5, 6, 13].

Основы теории систем предложены в конце 1940-х годов австрийским биологом и философом Л. фон Берталанфи (1901–1972) [6, 12]. Он разработал концепцию человеческого организма как открытой системы и программу построения общей теории систем. Эта теория задумывалась как интегральная теория, предмет которой составляют законы и закономерности образования, поведения и развития любых систем. Она была призвана разработать единый методологический (абстрактно-логический) аппарат для исследования систем различных классов, типов и назначения (физических, концептуальных, экономических, экологических и т.д.), изучать самые фундаментальные понятия и свойства систем любой природы, сложности и назначения. С ее помощью должны были изучаться не частные свойства конкретных систем, что составляет предмет других конкретных наук, а в основном их общее структурное построение. Основой для создания общей теории систем являлась аналогия, в частности изоморфизм процессов, протекающих во всех системах. Строго доказанный изоморфизм для систем различной природы дает возможность строить обобщенные модели систем и переносить системные знания из одной предметной области в другую.

В 1962 г. Л. фон Берталанфи различил общую теорию систем в широком и узком смысле [6, 12]. В широком смысле она понималась как фундаментальная наука, которая охватывала всю совокупность проблем исследования и конструирования систем. Эта наука состояла из теоретической части и прикладной области [6, 12]. Теоретическая часть включала общую теорию систем, понимаемую в узком смысле, кибернетику, теорию информации, теорию принятия решений, топологию, которая включала теорию сетей и теорию графов, а также факториальный анализ, изучающие различные аспекты объектов-систем. Общая теория систем, понимаемая в узком смысле, рассматривала наиболее общие положения, выводила из определения системы понятия, относящиеся к организованным целостностям (взаимодействие, сумма, централизация, финальность и т.д.), которые использовались для изучения

конкретных объектов-систем. В прикладную область были включены системотехника, исследование операций и инженерная психология.

Общей теории систем в первоначальной трактовке были присущи недостатки. Так, к их числу относятся недостаточно полное определение понятия «система», отсутствие теоретических положений об особенностях эволюции саморазвивающихся систем и др. [6]. Наличие недостатков не уменьшают заслуги Л. фон Берталанфи, сумевшего обобщить многовековой опыт развития системных идей и разработать программу создания общей теории систем. Это обуславливается тем, что в первом варианте теория систем не могла быть совершенной и требовала по многим направлениям дальнейших проработок. Основным недостатком его теории являлся методологический недостаток. Он заключался в претензии автора на выполнение этой теорией, понимаемой в широком смысле, роли философии для науки [6, 12]. Л. фон Берталанфи считал, что общая теория позволит сформировать систему универсальных принципов и методов научных исследований. Однако подобные претензии общей теории систем оказались несостоятельными: организация и проведение научных исследований регламентируется, прежде всего, философской методологией, методологией научных исследований и общей методологией, которой является формальная логика, включающая традиционную и символическую логику.

Л. фон Берталанфи акцентировал внимание на наличие в общей теории систем трех основных компонентов: системной философии, науки о системах и системной технологии (логико-методологического компонента) [10, 12].

Системная философия разрабатывает фундаментальные, наиболее общие вопросы теории систем. Она призвана переориентировать мировоззрение и мышление на рассмотрение и исследование окружающей действительности как целостности. В соответствие с этим системная философия разрабатывает концептуальные основы интеграции различных теорий на основе анализа их взаимосвязи и взаимозависимости. Специалистами выделены четыре центральных идеи системной философии: упорядоченная целостность, самостабилизация, самоорганизация и иерархизация [10]. Краткая характеристика этих идей будет дана в последующем изложении.

Сердцевиной науки о системах является концепция сложности [10]. При этом сложность понимается как большое количество объектов, которые взаимозависимы и взаимодействуют нерос-

тым образом. Концепция сложности характеризуется следующими основными положениями [10]:

1) для сложности характерно не только большое число компонентов, но и наличие большого количества различных по качеству и интенсивности связей и отношений взаимозависимости и взаимодействия между этими компонентами;

2) проблемы в различных областях — экономической, политической, социальной, военной и др. — существуют не изолированно друг от друга. Изучение и решение проблем возможно только с учетом связей и отношений между ними;

3) проблемы не могут быть изучены только изучением их компонентов. Проблемы надо изучать в целом, так как связи и отношения между их компонентами придают проблемам качественно новую определенность, не сводимую к сумме свойств изолированных друг от друга компонентов;

4) проблемы не остаются неизменными, они непрерывно развиваются. При этом могут изменяться их компоненты, связи и отношения как между компонентами, так и между проблемами;

5) среда, в которой существуют, развиваются и решаются проблемы, сама изменяется во времени, является динамичной, ее влияние обязательно должно учитываться;

6) сложность изучения и решения проблем усугубляется сложностью человеческого мышления и познания. Понимание и интерпретация сложности не исключают использование объективных знаний, но все же они в большей степени носят субъективный характер, во многом зависят от уровня культуры познающего субъекта, его опыта, уровня профессиональной, логической и методологической подготовки, интуиции. Более того, на изучение, понимание, интерпретацию проблем, выбор путей и способов их решения существенно влияют цели, интересы, ценностно-смысловые и морально-этические структуры мышления и познания заинтересованных активных групп людей, интересы и цели которых могут не совпадать, но обязательно должны учитываться.

Основополагающими в системном учении являются философские и теоретические положения и понятие о системе. Система (от греч. *συστήμα* — целое, составленное из частей; соединение) представляет собой совокупность компонентов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство [1]. Следует отметить, что в работах по системному подходу дается много трактовок понятия системы [4–6, 12]. Выше приведенное определение этого понятия является наиболее распространенным, энциклопедическим и будет использоваться в дальнейшем изложении. С середины прошлого века понятие

система стало одним из ключевых философско-методологическим и научным понятием.

Логико-методологический компонент общей теории систем обращает внимание на проблемы, которые находятся в различных областях деятельности человека и общества и могут быть исследованы с использованием приложений теории систем. При этом системные положения используются как методологические средства в рамках системного подхода, системного анализа, исследования операций, теории управления, системотехники, информатики и др.

Параллельно с Л. фон Берталанфи сходные разработки велись многими учеными из других отраслей науки. Появление и развитие системного движения привело к основанию в 1954 г. Общества по исследованию в области общей теории систем [10]. В дальнейшем в развитии системных идей принимали участие многие известные ученые. К их числу относятся Р. Аккоф, В. Афанасьев, С. Бир, И. Блауберг, Д. Бурчфилд, Д. Гвишиани, Г. Гуд, Д. Диксон, А. Зиновьев, Э. Квейд, В. Кинг, Д. Клиланд, В. Кузьмин, О. Ланг, В. Лекторский, В. Лефевр, Е. Липатов, Р. Микол, А. Малиновский, М. Месарович, Б. Мильнер, Н. Овчинников, С. Оптнер, Г. Поваров, Б. Радвиг, А. Раппопорт, В. Розин, В. Садовский, М. Сетров, В. Топоров, А. Уемов, Б. Флейшман, Ч. Хитч, А. Холл, Ю. Черняк, Г. Щедровицкий, У. Эшби, Б. Юдин, Э. Юдин [3, 6, 12] и др.

В последней четверти XX в. учение о системах обогатилось важным направлением междисциплинарных исследований — синергетикой. Ее предметом являются универсальные закономерности становления, функционирования и развития сложных самоорганизующихся систем различной природы. Термин синергетика впервые ввел на лекциях немецкий физик Г. Хакен в 1969 г., а в 1973 г. он предложил назвать так теорию самоорганизации [14]. Свой вклад в развитие синергетики внесли многие ученые, в том числе И. Пригожин, Е. Князева и С. Курдюмов [15], В. Василькова [16], С. Бранский [17].

В настоящее время сообществом ученых признано существование и развитие науки о системах. Она представляет собой обширный комплекс научных дисциплин различного характера и научных направлений и включает два основных взаимосвязанных компонента [3, 12, 18]:

- 1) общую теорию систем;
- 2) специальные, частные системные теории.

Общая теория представляет собой общесистемную теорию (метатеорию систем). Она изучает наиболее общие системные положения, которые имеют значимость для систем любой природы, и выполняет методологическую функцию по отношению к специ-

альным системным теориям. В этой связи общую теорию систем называют еще логико-методологической метатеорией [12].

Специальных системных теорий много. В их число входят [3, 12, 18]: системология, кибернетика, информатика, синергетика, системный подход, системный анализ, исследование операций, системотехника, и др. Ниже будут кратко рассмотрены самые основные положения системологии, которые имеют большое значение для понимания сущности системного подхода.

Системология — это теория сложных систем, которая как отрасль науки ставит своей целью изучение законов функционирования, наиболее общих способов описания, методов анализа и синтеза сложных систем вне зависимости от их природы. Важнейшими понятиями в системологии являются понятия системы, целостности, подсистемы, элемента, надсистемы, внешней среды, структуры, связи и отношения, функции, цели, управления, потока [1, 5, 6, 11].

Основное свойство системы — целостность, единство. Оно означает, что система представляет собой большую сложность и обладает качественно новыми свойствами, чем простые суммы сложности и свойств входящих в нее компонентов. Иногда свойство целостности системы называют свойством эмерджентности (от англ. *emergent* — возникший внезапно).

Целостность достигается посредством определенных взаимосвязей, взаимодействий компонентов системы — подсистем и элементов. Элементом системы является минимальная для данной задачи ее часть с однозначно определенными свойствами, выполняющая в ней определенные функции (имеющая известное поведение) и не подлежащая дальнейшему членению. Подсистемы же расчленяются дальше на свои компоненты: подсистемы более низкого уровня (ранга) и элементы. Выделение подсистем и элементов как самостоятельных компонентов является методическим приемом, удобным для исследования систем. В результате его использования устанавливается иерархия компонентов системы, т.е. многоступенчатая многоуровневая упорядоченность компонентов. При этом каждая подсистема может рассматриваться как система более низкого уровня. Сама исследуемая система входит в качестве компонента — подсистемы — в систему более высокого уровня (надсистему), находящуюся во внешней среде по отношению к исследуемой системе.

Внешнюю среду образует окружение, с которым система взаимодействует. Одни из элементов среды являются пассивными естественными объектами (природная среда), ограничивающими действия системы, другие — активными, стремящимися к дости-

жению своих целей, совпадающих или не совпадающих с целями данной системы, в том числе антагонистическими элементами, целенаправленно противодействующими системе.

Основную роль в формировании новых свойств системы, отличных от свойств ее компонентов, играет структура (от лат. *structura* — строение, расположение, порядок) системы — совокупность ее компонентов и устойчивых связей (точнее — взаимосвязей) и отношений между ними. В самом общем виде по признаку субординации компонентов, который важен для понимания структуры, можно выделить два типа внутренних связей: «подчинения—подчиненности» и «равноценности» («согласования»). Компоненты системы, расположенные по иерархическим уровням, с их связями образуют иерархическую структуру системы. Два компонента, связанные подчинением-подчиненностью, размещаются на соседних уровнях иерархии. Компоненты на одном уровне иерархии могут иметь связь равноценности, согласования. Между компонентами системы и внешней среды имеются связи — коммуникативные.

Следует отметить, что по проблеме классификации связей высказываются различные точки зрения. Так, известной является философская трактовка этой проблемы, в которой выделены следующие типы связей [4]:

1) связи взаимодействия (между свойствами объектов и между объектами); применительно к отдельным людям, коллективам и странам в соответствии с их целями различают кооперативные и конфликтные связи;

2) связи порождения или генетические связи, когда один объект служит основанием, которое вызывает к жизни другой объект;

3) связи преобразования;

4) связи строения или структурные связи;

5) связи функционирования, которые обеспечивают жизнедеятельность системы и которых может быть множество, соответствующее множеству возможных функций. В самом общем виде связи функционирования делят на связи состояний (следующее во времени состояние является функцией предыдущего) и связи энергетические, нейронные и т.п., характеризующие единство реализуемой функции;

6) связи развития, которые условно можно понимать как своеобразную модификацию функциональных связей состояний, но с учетом существенного отличия развития от простой смены состояний;



7) связи управления, которые могут образовывать разновидность функциональных связей или связей развития; эти связи относятся к числу самых важных связей.

Специалистами по системному подходу особо выделяются рекурсивная, синергетическая и циклическая связь [6].

Рекурсивной является такая необходимая связь между экономическими явлениями и объектами, для которой видна причина и следствие.

Синергетическая связь — это такая связь, которая увеличивает эффект совместного действия компонентов системы до уровня большего, чем простой суммарный эффект независимых действий компонентов. Это очень важная связь, так как именно она обеспечивает эмерджентные свойства системы, свойства целостности. Кроме того, синергетическая связь играет решающую роль в эволюции сложных самоорганизующихся систем.

Циклическая связь представляет собой сложную обратную связь. Ее суть заключается, например, в том, что один объект действует развитию другого объекта, который в свою очередь создает благоприятные условия для развития первого.

Кроме рассмотренных выше связей, в работах указывается на существование в системах и других видов связей, выделяемых по различным основаниям [3, 4, 6, 12, 18]. Например, существенных и несущественных, частносистемных, внутрисистемных и межсистемных, взаимных и односторонних, противоречивых и непротиворечивых, полезных и вредных, устойчивых и неустойчивых, важных, не очень важных и неважных, прямых и обратных, жестких и гибких, обратных положительных и отрицательных и других связей [6].

Сложность классификации обусловлена множеством связей, которые присущи самым разнообразным по природе и сложности систем окружающей действительности. Эти связи многомерны, многоплановы, многогранны, многозначны. Попытка дать универсальную классификацию всех возможных связей, видимо, заранее обречена на неудачу. Поэтому при проведении исследований по какой-либо специальности или в случае междисциплинарных исследований необходимо, опираясь на существующие общие наработки, установить конкретные типы связей, присущих конкретно изучаемым объектам-системам.

Связи играют одну из ведущих ролей в системах. Для существования и выделения системы из действительности необходимо, чтобы ее внутрисистемные связи по интенсивности, силе превосходили интенсивность, силу связей ее компонентов с компонентами внешней среды.

Каждый компонент в системе выполняет определенные функции (от лат. *functio* — совершение, исполнение). В системологии под функцией обычно понимают действия системы или ее компонентов в соответствии с назначением или назначение, преобразованное в действие. При этом иерархической структуре компонентов системы соответствует иерархическая структура их функций: выполнение функций более высокого уровня обеспечивается совокупностью функций предшествующего уровня вплоть до элементарных функций, выполняемых отдельными элементами системы.

Система как единое целое имеет определенную цель или назначение. Под целью, как известно, понимается предвосхищенный в сознании результат действий системы. Цель для системы определяет более высокая по рангу система — надсистема. Процесс целенаправленного изменения состояния системы во времени называется ее функционированием (проявлением ее функций во времени). Согласованное взаимодействие всех компонентов системы друг с другом в процессе ее функционирования обеспечивается путем управления системой.

Управление — это процесс целенаправленного воздействия на объект управления со стороны управляющего объекта для изменения его состояния в соответствии с изменяющейся обстановкой. Оно является важнейшим системообразующим фактором: посредством его достигается цель, которая предопределяет характер функционирования системы.

При управлении в системе движутся потоки информации о состоянии ее компонентов и внешней среды, о выполнении компонентами своих функций. Кроме того, в процессе функционирования в системе существуют, как правило, потоки энергии и вещества.

Значительный интерес для исследователей представляет классификация систем. Она затруднена тем, что системность является атрибутом (от лат. *attribuo* — придаю, наделяю), т.е. необходимым, существенным свойством действительности, которая представляет собой гигантскую суперсистему и включает гигантское множество объектов-систем в самых разнообразных формах и проявлениях, находящихся в движении, в самых различных связях и отношениях друг с другом, обладающих множеством свойств. Это обусловило наличие нескольких подходов к классификации систем.

В самом общем плане системы разделяются на материальные и абстрактные системы [1, 6].

Материальные системы делятся на системы неорганической природы (физические, химические и др.) и живые системы (биологические, социальные и др.).

Абстрактные системы являются продуктом человеческого мышления. К ним относятся понятия, гипотезы, теории, различные системы знаний, лингвистические системы и др. В одной из работ абстрактные системы разделены на описательные (логические — дедуктивные и индуктивные) и символические (математические) [6].

Описательные системы представляют собой дедуктивные или индуктивные представления в естественном языке структуры и закономерностей функционирования материальных систем.

Символические системы являются формализацией логических систем и подразделяются на три класса [6]:

1) статические математические системы или модели, по сути являющиеся описаниями математическими средствами состояния материальных систем;

2) динамические математические системы или модели, представляющие собой математическую формализацию функционирования материальных или абстрактных систем;

3) квазистатические или квазидинамические системы, которые находятся в неустойчивом состоянии и могут при воздействиях одного рода вести себя как статические, а при воздействиях другого рода — как динамические системы.

Заслуживает внимание деление всех систем на неорганичные и органичные [6]. Органичные системы являются более сложными по структуре и поведению. Им присущи генетические связи, структура их иерархична, необходимое условие их устойчивого функционирования — постоянное обновление их структуры. Компоненты таких систем гибко приспособлены к выполнению команд управляющей системы, так как имеют несколько степеней свободы. Неорганичные системы более просты и этими свойствами не обладают.

Широкое признание в настоящее время получила предметная и категориальная классификация систем [1, 12, 19].

При предметной классификации выделяются конкретные, относящиеся к различным фрагментам реальности виды систем, например, социальные, экономические, биологические, физические, химические, концептуальные, технические, космические, военные и другие системы.

При категориальной классификации системы разделяются по различным общим основаниям, которые присущи любым системам независимо от принадлежности к тому или иному фрагменту

действительности. Иногда основания группируются, например, по количественным, структурным и составным категориальным признакам [12, 19]. Однако эти характеристики настолько взаимосвязаны, что, видимо, рациональнее рассматривать типологию систем просто по отдельным категориям (основаниям, признакам). Ниже приводится краткая классификация систем по девяти признакам, хотя не исключена возможность выделения и других систем.

1. В зависимости от степени сложности структуры, выполняемых функций и пространственных свойств системы могут быть простыми, сложными и большими. Простые системы не имеют разветвленной структуры, выполняют простейшие функции. Сложные системы имеют сложную структуру, выполняют сложную функцию или ряд функций. Высказываются мнения, что нет единства мнений по поводу разделения систем на простые и сложные системы [9, 11, 19]. В общем случае по качественным признакам считают, что простые системы имеют предсказуемое поведение, свойства и реакцию на внешние воздействия. Поведение сложных систем слабо предсказуемо, но самым главным, определяющим свойством, которым они отличаются от простых систем, является их способность принимать решения [9].

Существуют и другие мнения по градации сложности систем. Так, приводится деление зарубежными учеными систем на простые, сложные и очень сложные [6]. Известный математик Г.Н. Поваров подразделяет все системы в зависимости от числа входящих в них элементов на четыре группы: малые системы с числом элементов соответственно —  $10-10^3$ ; сложные —  $10^3-10^7$ , ультрасложные —  $10^7-10^{30}$ , суперсистемы — больше  $10^{30}$  [6]. Такое деление систем, видимо, заслуживает внимания с точки зрения строгого количественного подхода к классификации систем.

Для исследователей, работающих со сложностью, деление систем на простые и сложные системы носит чисто информативный характер, так как они, как правило, всегда имеют дело со сложными системами как со стороны количественных, так и качественных признаков. Поэтому дальнейшее изложение будет осуществляться применительно к сложным системам.

В сложной системе обычно можно выделить следующие функциональные подсистемы [9, 11]:

- ✓ информационную, обеспечивающую сбор, переработку и передачу информации, необходимой для принятия глобального решения (общего для системы) и выполнения локальных заданий;
- ✓ управляющую, которая принимает глобальное решение о способах действий системы по достижению поставленной цели с

учетом состояния системы и внешней среды, определяет и распределяет локальные задания всем другим компонентам системы, распределяет имеющиеся ресурсы, реализует глобальное решение;

✓ гомеостатическую (от греч. ὁμοιος — подобный, одинаковый и στάσις — состояние), поддерживающую динамическое равновесие внутри среды и существенно важные для сохранения системы параметры в допустимых пределах, регулирующие потоки и ресурсы энергии и вещества в подсистемах, необходимые им для выполнения локальных заданий (выполняющую функцию самостабилизации);

✓ адаптивную (от лат. *adaptatio* — приспособление), накапливающую опыт в процессе функционирования для улучшения структуры и функций системы.

Большая система — это такая система, которая не наблюдается одновременно с позиций одного наблюдателя во времени или в пространстве [11]. Для нее существенен пространственный фактор, число подсистем очень велико, а состав разнороден. Большие системы являются подклассом сложных систем.

2. По характеру связей и отношений между компонентами внутри самой системы и с внешней средой системы делятся на детерминированные, вероятностные (стохастические) и неопределенные системы. Для детерминированных систем связи и отношения, а также поведение, определяющееся этими связями и отношениями, могут быть корректно отражены формальными зависимостями, для вероятностных — стохастическими и статистическими методами. При этом состояние детерминированной системы можно однозначно определить в любой последующий или предшествующий момент времени. Состояние стохастических систем при знании значений ее переменных в данный момент времени можно только предположить вероятность распределения значений этих переменных в последующие моменты времени. Для неопределенных систем формальное описание связей, отношений и поведения затруднено или невозможно, их исследование наиболее сложно.

3. Ключевую роль в описании изменений во времени, происходящих в системе, играет понятие состояния — совокупности существенных свойств, которыми обладает система в каждый рассматриваемый момент времени. Система, состояние которой изменяется во времени, называется динамической, в противном случае — статической. Подавляющее большинство систем являются динамическими.

4. По характеру действий при достижении целей выделяют целенаправленные и целеустремленные системы [10]. Целенап-

равленные системы предназначены для достижения определенной цели, действуя по определенной программе в заданном диапазоне своей структуры и условий внешней среды, мало адаптивны или вообще не адаптивны к изменению условий. Это, как правило, системы-автоматы, которые при выходе условий за пределы заданного диапазона или структурных нарушениях прекращают функционирование. Целеустремленные системы обладают большими возможностями по адаптации к условиям внешней среды, они стремятся достичь поставленных целей (военные системы, например, во что бы то ни стало), могут для этого изменять в значительных пределах структуру и функции, не останавливаясь в противоборстве или конкуренции перед потерями.

5. Одним из оснований для категориальной классификации является наличие обмена (веществом, энергией, информацией) между системой и внешней средой. По этому основанию системы делятся на закрытые и открытые системы. У закрытых систем такой обмен отсутствует, а у открытых — имеется. Понятие закрытой системы абстрактно, так как в действительности полностью закрытых систем нет.

6. Управляться системы могут различным образом. В связи с этим по способу управления выделяют системы управляемые извне, самоуправляемые и с комбинированным управлением [12].

7. По происхождению системы подразделяются на естественные, искусственные и смешанные системы [12].

8. По способности к саморазвитию различают самоорганизующиеся и не самоорганизующиеся системы. Основным источником развития самоорганизующихся систем является совместное действие их внутренних факторов, а не самоорганизующиеся подобным свойством не обладают. Закономерности и механизмы самоорганизации и порядкаобразования сложных систем изучаются синергетикой.

9. По роли людей в функционировании систем выделяются автоматические, человеко-машинные и организационные или организационно-технические системы [5, 20].

К автоматическим относятся такие системы, которые функционируют в соответствии с заложенной в них программой в заданном диапазоне изменения условий. Роль людей в таких системах сводится в основном к осуществлению контроля. Поведение автоматических систем можно предсказать с точностью, которой обладает контрольная и регулирующая аппаратура.

Для человеко-машинных систем характерна тесная операционная связь людей с действиями определенного устройства. Приме-

рами подобных систем являются такие системы как летчик—самолет, водитель—автомобиль, различные обучающие машины, использующиеся в учебном процессе, системы оповещения, автоматизированные системы управления и др. Поведение человеко-машинных систем предсказуемо в такой степени, которая позволяет определить, что произойдет в случае действий людей в соответствии с инструкциями и предписаниями или при их нарушении.

Организационные или организационно-технические системы представляют собой сложные системы, в которых решающая роль принадлежит коллективам людей, использующих различные технические устройства и комплексы для достижения определенных целей. На функционирование этих систем существенное влияние оказывает внешняя среда. Поведение организационно-технических систем трудно предсказуемо, так как на него влияет большое число факторов, в том числе неопределенных. Такие системы еще называются просто организациями.

Изложенные выше подходы к классификации систем являются общенаучными. В различных отраслях науки и дисциплинах могут использоваться частные классификации «своих» систем, учитывающие специфику их объектов и предметов исследования.

Рассмотренные в данном параграфе теоретические основы системного подхода позволяют раскрыть его суть, принципы и аспекты.

## **1.2. Основные принципы и аспекты системного подхода**

Системный подход — это такое методологическое направление в исследованиях, которое заключается в использовании фундаментального методологического понятия системы как абстрактного единого образа исследуемых конкретных объектов любой природы, в выделении ведущих, определяющих сторон, тенденций развития системы, в представлении знания и решаемой проблемы или задачи как своеобразной концептуальной системы [1, 4, 6, 11, 18].

В самом общем виде главная особенность системного подхода, отличающая его как самостоятельную методологическую концепцию, заключается в том, что он ориентирует исследователей на всестороннее целостное изучение объектов-систем. Более детально эта ориентация характеризуется следующими основными положениями [1, 4–6, 9–12, 18]:

- 1) при исследовании объекта как системы описание его подсистем и элементов не является определяющим, поскольку каж-

дый из компонентов представляется не изолированным, а с учетом его места и роли в целом;

2) исследование объекта как системы неотделимо от исследования его взаимосвязей с внешней средой, поскольку объект изучается как подсистема более крупной системы, находящейся по отношению к исследуемому объекту-системе во внешней среде; внешняя среда оказывает сильное влияние на функционирование объекта-системы при достижении им главной цели;

3) необходим учет новых свойств, возникающих при объединении компонентов в систему и не сводящихся к простой сумме свойств подсистем и элементов, образующих эту систему;

4) атрибутом сложных систем является управление. Оно представляет собой важнейший системообразующий фактор, так как на основе переработки информации о состоянии своих компонентов и внешней среды принимается глобальное решение, определяются частные цели компонентов и распределяются ресурсы между ними для достижения глобальной цели;

5) сложные системы являются, как правило, целенаправленными или целеустремленными; поведение таких систем не всегда может быть объяснено в рамках причинно-следственной схемы;

6) основной причиной эволюции самоорганизующихся систем является совместное действие их внутренних факторов; сложным системам или их компонентам нередко свойственны определенные множества индивидуальных характеристик и степеней свободы.

Системный подход основывается на ряде философских идей, общей теории систем и системологии, основные положения которых кратко рассмотрены в предыдущем параграфе, а также на положениях синергетики, кибернетики и ряда других частных системных теорий. Как относительно самостоятельная часть диалектической методологии системный подход включает ряд специфических принципов. Основными из них являются принципы системности, конечной цели, иерархичности познания, интеграции и функциональности [4, 7, 11, 18].

О принципе системности, требующем рассмотрения объектов исследования и построения знаний как систем, достаточно было сказано выше.

Принцип конечной цели устанавливает абсолютный приоритет конечной (глобальной) цели. Это означает, что все должно быть подчинено конечной цели (основной функции, основному назначению) целенаправленной или целеустремленной системы. Любая попытка изменения, совершенствования и управления в такой системе должна оцениваться с точки зрения того, помогает или мешает она достижению конечной цели. Это накладывает особую



ответственность на выбор цели и ее четкую трактовку. Расплывчатые, не полностью определенные конечные цели влекут за собой неясности в структуре и управлении системой.

Принцип иерархичности познания требует изучения объекта на различных по сложности уровнях исследования. Так, в одной из работ предлагается проводить изучения объекта на трех уровнях [11]:

- ✓ изучение объекта в соотношении с составляющими его компонентами — «нижний» уровень;
- ✓ изучение самого объекта — «собственный» уровень;
- ✓ изучение этого же объекта как компонента более широкой системы — «внешний» уровень.

Значительный интерес представляет собой место системного подхода в иерархии усложняющихся уровней исследования объектов-систем, которые выделяются философами и методологами. В работах принято рассматривать четыре основных уровня исследования [4]:

✓ 1-й уровень — параметрическое описание. Этот уровень является исходным уровнем исследования. Он основывается на эмпирических методах и фактах и включает описание свойств, признаков и отношений объекта;

✓ 2-й уровень — морфологическое (субстратное) описание. На этом уровне определяется компонентный состав объекта, а также взаимосвязи свойств, признаков и отношений, которые выделены на первом уровне исследований;

✓ 3-й уровень — функциональное описание. Оно может включать определение функциональных зависимостей между параметрами объекта (функционально-параметрическое описание), между его компонентами (функционально-морфологическое описание) или между параметрами и строением объекта. Специфика функционального подхода состоит в том, что функции компонентов объекта выводятся из целей, функций и требований более широкой целостности — надсистемы, т.е. на основе принципа «вложенности»;

✓ 4-й уровень — исследование поведения объекта. Это наиболее сложная форма исследования объекта, так как она предусматривает изучение динамики функционирования объекта-системы в проводимых им операциях с оценкой степени достижения глобальной цели. На поведение и результаты операций объекта существенное влияние оказывает внешняя среда, учет факторов которой обязателен.

Можно дискутировать об этих уровнях, выделять и другие уровни исследования, как это будет показано в четвертой главе

при рассмотрении основных положений теории эффективности. Самое главное заключается в том, что системный подход, как правило, рассматривается как комбинированный подход к исследованиям, т.е. его методологические установки предусматривают использование всех четырех указанных выше уровней исследования объекта-системы.

Принцип интеграции предопределяет изучение интегративных свойств и закономерностей систем, раскрытие базисных механизмов интеграции целого.

Принцип функциональности требует совместного рассмотрения структуры и функции с приоритетом функции над структурой. Он утверждает, что любая структура тесно связана с функциями системы и ее частей, и исследовать (создавать) структуру необходимо после уяснения функций в системе. На практике принцип функциональности, в частности, означает, что в случае придания системе новых функций полезно пересмотреть ее структуру, а не пытаться втиснуть новую функцию в старую схему.

Рассмотренные основные принципы системного подхода дополняются рядом частных принципов, которые дополняют, конкретизируют или уточняют основные. К ним относятся следующие принципы [7, 11]:

✓ принцип связности: рассмотрение любой части совместно с ее связями с окружением и надсистемой, в которую она входит в качестве подсистемы;

✓ принцип единства: совместное рассмотрение системы как целого и как совокупности частей (подсистем, элементов);

✓ принцип измерения: оценку качества системы в статике, качества проводимой ею операции или качества результата этой операции необходимо производить только с точки зрения надсистемы, в которую она входит;

✓ принцип иерархии: полезно введение иерархии частей (подсистем, элементов) и (или) их ранжирование;

✓ принцип сочетания централизации и децентрализации: при управлении в сложных системах их компонентам необходимо предоставлять определенную свободу в выполнении возложенных на них функций;

✓ принцип неопределенности: учет неопределенностей и случайностей в системе;

✓ принцип организованности: решения, действия, выводы в системе должны соответствовать степени ее детализации, определенности, организованности;

✓ принцип чувствительности: вмешательство в систему должно согласовываться с уровнем ее реакции на вмешательство;

✓ принцип свертки: информация и управляющие воздействия свертываются (укрупняются, обобщаются) при движении снизу вверх по иерархическим уровням;

✓ принцип формализации: системный подход нацелен на получение количественных характеристик, создание методов, сужающих неоднозначность понятий, определений, оценок и др.

Основные проблемы системного подхода связаны с развитием методов практической реализации указанных принципов, и, в частности, с выявлением законов объединения частей в целое; законов, определяющих характер структуры, функционирования и развития, связи с условиями и средой существования, предельных характеристик систем; с разработкой содержательных и формальных средств представления исследуемых объектов как систем; с исследованием методологических оснований различных системных теорий [4, 11] и т.д.

Всестороннее изучение любой системы предполагает установление состава компонентов, структуры и функций как системы в целом, так и ее составных частей, факторов, обеспечивающих целостность и относительную самостоятельность системы, а также истории ее возникновения, становления и развития. В соответствии с этим в системном подходе выделяют системно-компонентный, системно-структурный, системно-функциональный, системно-интегративный и системно-генетический аспекты [4, 11, 19].

Системно-компонентный аспект предусматривает в качестве начального этапа исследования системы изучение ее компонентного состава и связан с поиском ответа на вопрос: какие компоненты образуют целое. При этом считается, что компоненты системы — это те структурные единицы, взаимодействие которых обеспечивает присущие системе качественные особенности.

Компоненты системы могут разными способами связываться в целое. Вопрос о том, как образованы эти связи, т.е. какова структура системы, решает системно-структурный аспект системного подхода. Структура системы играет огромную роль: без устойчивых связей, взаимодействия компонентов система перестала бы существовать.

Системно-функциональный аспект системного подхода связан с изучением поведения отдельных частей системы и рассмотрением функционирования системы в целом. Каждая реальная система выполняет определенные функции, представляющие собой интегративный результат функционирования ее компонентов.

Системно-интегративный аспект освещает вопрос о факторах системности, т.е. о механизмах которые обеспечивают сохранения качественной специфики системы. Наиболее общим, универсаль-

ным основанием системности являются присущие действительности принципы взаимосвязи и движения.

Системно-генетический аспект предполагает исследования предыдущих этапов развития системы, начиная с ее возникновения, становления и последующего функционирования.

Рассмотренные принципы и аспекты системного подхода в своем единстве и взаимодействии делают системный подход эффективным средством познания. При научных исследованиях, наряду с совместным применением всех аспектов, используются один из них или комбинация отдельных аспектов. Однако всестороннее исследование системы, процесса, задачи или проблемы может быть осуществлено только при совместном применении всех аспектов системного подхода.

Следовательно, значимость системного подхода для теории и практики не вызывает сомнений. Особо следует отметить его высокую степень общности. Это обуславливается системностью действительности. В силу данного обстоятельства каждый исследователь или практик должен учитывать в любых сферах своей деятельности положения, требования, принципы и аспекты системного подхода.

Вместе с тем, любой подход в теории и практике остается подходом. Он определяет принципиальную точку зрения человека на рассматриваемый предмет, общие ориентиры научного или практического познания реальности. Однако для решения конкретных научных или практических проблем исследователь или практик должен в рамках системного подхода использовать комплекс конкретных методологических средств, позволяющих корректно решать эти проблемы. Такой комплекс методологических средств, используемых для решения сложных проблем в самых различных сферах деятельности людей и общества, получил название системного анализа. Его основные положения и связь с различными научными направлениями и дисциплинами будут рассмотрены в следующей главе.

## Глава 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

### 2.1. Основные направления в системном анализе и его этапы

Как было показано ранее, системный подход представляет собой совокупность идей и принципов системных исследований. Его рецептурной, методической реализацией является системный анализ, который образно можно назвать технологией системного подхода. Он представляет собой совокупность методических средств реализации системного подхода при подготовке и обосновании решений по сложным проблемам самого различного характера [1, 5–7, 9]. Исследуемые проблемы могут принадлежать экономической, политической, социальной, научной, технической, военной и другим сферам деятельности человека, общества и государства. В процессе системного анализа органически сочетаются анализ и синтез. Это характеризует процедуру обоснования решений, которая заключается в декомпозиции проблемы на компоненты, более доступные для изучения, применении наиболее подходящих методов для решения частных задач, и, в заключение, в объединении частных выводов и решений в общее. К основным принципам системного анализа относятся [1, 2, 5, 6, 11]:

- ✓ целенаправленность (на начальных этапах должна быть определена и четко сформулирована главная цель (цели);
- ✓ рассмотрение исследуемых объектов или решаемых проблем как систем;
- ✓ выявление и анализ нескольких вариантов решения проблемы и выбор оптимального или эффективного варианта;
- ✓ подчиненность частных целей достижению главной цели (целей);
- ✓ комплексность и сбалансированность применяемых методов исследования;

✓ ведущая роль лица, принимающего решение (ЛПР) на основных этапах обоснования решения по сложным проблемам, так как только ЛПР имеет право принимать решения и несет ответственность за их доброкачественность;

✓ организация, проведение и методологическое обеспечение системного исследования системным аналитиком — главной, центральной фигурой в системно-аналитической процедуре.

Проблем, которые возникают перед обществом, государством, коллективами людей и отдельными индивидами и должны ими решаться, великое множество. Проблема (от греч. πρόβλημα — преграда, трудность, задача) представляет собой возникающие в ходе познания вопрос или комплекс вопросов, решение которых имеет существенную теоретическую или практическую значимость [1]. В русском языке под проблемой понимается «сложный вопрос, задача, требующие разрешения, исследования» [21, с. 604], а под задачей — «сложный вопрос, проблема, требующие исследования и разрешения» [21, с. 203]. Из изложенного видно, что термины «проблема» и «задача» являются фактически синонимами. Поэтому в дальнейшем будут использоваться оба этих термина, но все же чаще будет идти речь о проблемах.

Как было отмечено выше, системный анализ применяется при обосновании решений по сложным проблемам. Следует отметить, что вопросами обоснования решений по сложным проблемам также занимается исследование операций. В этой связи необходимо представлять то, что является общим у системного анализа и исследования операций, а также различия между ними.

Исследование операций является прикладной научной дисциплиной, которая занимается разработкой и применением «математических, количественных методов для обоснования решений во всех областях целенаправленной человеческой деятельности» [цит. по: 22, с. 9].

Х. Райфа в своей работе по исследованию операций приводит следующее высказывание Э. Квейда на одном из симпозиумов по системному анализу и теории принятия решений: «В широком смысле слова любое аналитическое исследование, призванное помочь принимающему решение выбрать предпочтительное действие среди множества альтернатив, могло бы называться системным анализом» [цит. по: 23, с. 387]. И тут же высказывает свое суждение: «В РЭНДе принято считать, что термин «системный анализ» относится к анализу решений в очень сложных задачах, которые определены довольно неточно. Об «исследовании операций» же говорят в случае анализа решения для более ограниченного класса ситуаций, когда и структура задачи и цели в ней доволь-

но хорошо определены. Конечно, никакой четкой границы между двумя этими категориями нет» [23, с. 387] (РЭНД — корпорация США, являющаяся родоначальницей системного анализа).

Из изложенного следует, что специалисты в широком плане в принципе не против включения исследования операций в системный анализ как его специфического приложения для обоснования решений по хорошо определенным проблемам. Основанием является то, что и системный анализ и исследование операций занимаются разработкой и применением методов для решения сложных проблем. Разделяющие их признаки обуславливаются только степенью определенности и связанной с ней сложностью исследуемых проблем.

В этой связи последующее изложение будет осуществляться применительно к традиционному пониманию системного анализа, т.е. исходя из предположения, что он не включает исследование операций. В дальнейшем при характеристике этапов системного анализа будут затрагиваться при необходимости частные вопросы исследования операций. То, что роднит операционные исследования с системным анализом, а также их отличия будут рассмотрены в п. 2.4.

Исследование операций было разработано и стало применяться раньше системного анализа. Термин «исследование операций», как известно, появился в годы второй мировой войны, когда появилась насущная необходимость выработки руководством вооруженных сил (в первую очередь, Англии и США) предложений по решению ряда сложных проблем [22, 23]. Для этого создавались специальные комплексные группы из ученых различных специальностей (математиков, физиков, инженеров, биологов и др.). Первоначально эти проблемы были связаны с рациональным распределением различных сил и средств и применения вооружения. Впоследствии методы исследования операций стали широко применяться во всех сферах деятельности общества.

Приоритет в обосновании и широком применении системного анализа (анализа систем) принадлежит известной фирме США «РЭНД корпорейшн», которая была создана в 1947 г. [6, 20]. Специалисты этой корпорации провели целый ряд основополагающих исследований и разработок по анализу систем. Эти исследования и разработки касались решения так называемых слабоструктуризованных проблем в военной сфере. Первой разработкой, основанной на системном подходе и системном анализе, было начавшееся в 1952 г. создание сверхзвукового бомбардировщика В-58. Первую книгу по системному анализу издала «РЭНД корпорейшн» в 1956 г. (авторы А. Канн и С. Манн). В последующем было опубликовано

значительное число трудов по системному анализу, который стал широко применяться в различных сферах деятельности. Считается, что именно применение системного анализа для решения сложных проблем в экономике, политике, управлении на самых различных уровнях (от государственного стратегического уровня до уровня сравнительно небольших фирм) и других сферах деятельности способствовало успешному развитию США и других процветающих стран. Профессия специалиста по анализу систем — системного аналитика, специалиста по стратегическому планированию — является востребованной, престижной и высокооплачиваемой [5, 10, 24, 25]. Подготовкой специалистов этого профиля в развитых странах занимается ряд известных вузов. Высококвалифицированные системные аналитики работают в специальных консультативных фирмах, услугами которых пользуется руководство многих крупных корпораций, банков, фирм и др. [5, 25].

Несмотря на наличие значительного количества работ, посвященных системному анализу, имеется необходимость обобщения и уточнения некоторых его положений, а также рассмотрение анализа как полного цикла исследований с применением в его рамках различных методологических подходов и методов.

Для исследователей очень важно знать в первую очередь последовательность работ, выполняемых при применении процедур системного анализа, т.е. основные его этапы. Вместе с тем, в работах нет единого мнения по этому важному вопросу. Это обусловлено тем, что в них излагаются варианты системного анализа или в обобщенном виде или применительно к решению проблем для конкретных сфер и областей, каждой из которых свойственны свои особенности. Эти особенности учитываются в конкретных процедурах системного анализа, иногда несколько затеняя самые существенные, общие для всех проблем этапы. В этой связи имеется необходимость на основе изучения имеющихся наработок выделить и охарактеризовать самые основные этапы системного анализа, являющиеся общими для подавляющего большинства проблем и раскрывающие суть его процедур.

В одной из известных работ перечислены следующие основные этапы системного анализа [5]: 1) определение конфигуратора («языков» описания проблемы); 2) определение проблемы и проблематики; 3) выявление целей; 4) формирование критериев; 5) генерирование альтернатив; 6) построение и использование моделей; 7) оптимизация (для простых систем); 8) выбор; 9) декомпозиция; 10) агрегирование; 11) исследование информационных потоков; 12) исследование ресурсных возможностей; 13) наблюдения и эксперименты над исследуемой системой; 14) реализа-



ция, внедрение результатов анализа. При этом указывается, что эти этапы являются блоками и могут быть использованы при обосновании решений по самым различным проблемам. Системно-аналитические процедуры специалисты-аналитики строят применительно к особенностям конкретных проблем. В таких процедурах может изменяться последовательность выполнения этапов, использоваться не все этапы, могут включаться дополнительные этапы и операции, этапы могут делиться на более мелкие операции.

В другой работе [6] приводятся четыре варианта основных этапов системного анализа.

Так, классическая американская школа анализа систем, которая занимается оценкой и выбором систем вооружения, промышленных систем и капиталовложений, рассматривает следующие этапы системного анализа [6, с. 239]: «определение актуальности проблемы; определение целей; определение структуры технической системы и ее дефектов; определение возможностей; нахождение альтернатив; оценка альтернатив; выработка решения; признание решения; запуск решения; управление реализацией решения; оценка реализации и ее последствий».

Американская школа системного проектирования и управления организациями выделяет десять этапов системного анализа [6, с. 239]: «определение целей организации; выявление проблемы; диагностика (определение, распознавание); поиск решения; оценка и выбор альтернатив; согласование решения; утверждение решения; подготовка к вводу в действие; управление применением решения; проверка эффективности».

Советско-российская экономико-математическая школа (работает на высших уровнях планирования народного хозяйства) рассматривает следующие основные этапы системного анализа [6, с. 239]: «формулирование проблемы; определение целей; сбор информации; разработка максимального количества альтернатив; отбор альтернатив; построение модели в виде уравнений, программ или сценария; оценка затрат; испытание чувствительности решения (параметрическое исследование)».

Советско-российская школа, работающая на отраслевом уровне и связанная с разработкой автоматизированных систем управления и пр., выделяет десять этапов [6, с. 239]: «обнаружение проблемы; оценка актуальности проблемы; анализ ограничений проблемы; определение критериев; анализ существующей системы; поиск возможностей (альтернатив); выбор альтернативы; обеспечение признания; принятие решения (принятие формальной ответственности); определение результатов решения».

Автор работы [6] называет все вышеизложенные подходы абстрактными. Более углубленным и принципиальным он считает выделение в системном анализе (применительно к управлению экономикой) следующих двенадцати этапов: 1) анализ проблемы; 2) определение системы; 3) анализ структуры системы; 4) формулирование общей цели и критерия системы; 5) декомпозиция цели, выявление потребностей в ресурсах и процессах; 6) выявление ресурсов и процессов, композиции целей; 7) прогноз и анализ будущих условий; 8) оценка целей и средств; 9) отбор вариантов; 10) диагноз существующей системы; 11) построение комплексной программы развития; 12) проектирование организации для достижения целей.

Существуют и другие варианты этапов системного анализа. Например, в работе [3] приведено пять вариантов: С. Опфера и С.П. Никанорова (13 этапов), Э. Квейда (5 этапов), С. Янга (10 этапов), Е.П. Голубкова (7 этапов), Ю.И. Черняка (12 этапов, которые разделяются на 72 подэтапа). Все они, кроме варианта Э. Квейда, имеют много общего с одним из охарактеризованных выше вариантов. Вариант Э. Квейда выделяется своей лаконичностью и достаточно высокой степенью общности. Он включает следующие этапы [3]: 1) постановку задачи — определение существа проблемы, выявление целей и определение границ задачи; 2) поиск — сбор необходимых сведений, определение альтернативных средств достижения целей; 3) толкование — построение модели и ее использование; 4) рекомендации — определение предпочтительной альтернативы или курса действий; 5) подтверждение — экспериментальная проверка решения.

Изучение различных вариантов позволило специалистам выделить пять основных компонентов системного анализа и исследования операций, которые должны присутствовать во всех их вариантах [26]:

- 1) цель или ряд целей;
- 2) альтернативные средства (или системы), с помощью которых можно достичь цели;
- 3) затраты ресурсов, требуемых для каждой системы;
- 4) математическая или логическая модель или модели, каждая из которых есть система связей между целями, альтернативными средствами их достижения, окружающей средой и ресурсами;
- 5) критерий выбора предпочтительной альтернативы; он устанавливает некоторое отношение между целями и затратами на их достижение, например, достижения максимума целей при некоторых предположенных или заранее заданных затратах.

Методологический плюрализм, исповедуемый современным постнеклассическим стилем научного мышления, не исключает различных подходов к трактовке этапов системного анализа с учетом особенностей конкретных проблемных областей и проблем. Учитывая большое разнообразие типов проблем (в следующем параграфе будут приведены восемь оснований для классификации проблем), можно предположить, что вариантов этапов системного анализа может быть очень много. Причем гораздо больше 11 вариантов, указанных выше. Для рассмотрения только части возможных вариантов потребуется объемное изложение и участие в нем большого количества специалистов из различных сфер и областей деятельности человека и общества. В связи с этим при изложении основ системного анализа целесообразно пойти по пути обобщения. Обобщение может быть осуществлено указанием всех возможных основных этапов системного анализа для всех типов проблем, как это сделано в первом из рассмотренных выше вариантов. Однако при таком подходе, во-первых, нет гарантии полноты перечня этапов, так как при решении определенных типов проблем могут оказаться основными этапы, не вошедшие в перечень. Во-вторых, в таком перечне не отражена хотя бы ориентировочная последовательность выполнения основных этапов и их взаимосвязь. Поэтому при рассмотрении основных этапов системного анализа целесообразно абстрагироваться от частной специфики проблем и рассматривать этапы в обобщенном плане, причем самые основные, общие для всех или большинства типов проблемных ситуаций, а также общую последовательность их выполнения.

Кроме того, сейчас нельзя изложить даже самые важные этапы системного анализа в одном единственном варианте. Дело в том, что в настоящее время получили распространение два направления в системном анализе, ряд этапов которых существенно отличаются друг от друга. Первое направление связано с анализом сложных проблемных ситуаций с использованием моделей, которые позволяют определять показатели привлекательности альтернатив без моделирования операций систем. Второе направление основывается на методах теории эффективности, применение которых предусматривает использование моделей операций сложных систем [8, 9]. Основные этапы для этих направлений показаны на рис. 2.1.

Первые два этапа, связанные соответственно с идентификацией, изучением, определением типа и формулированием проблемы и определением главной цели или нескольких целей, практически одинаковы для обоих направлений. Эти этапы будут охарактеризованы в двух следующих параграфах данной главы.

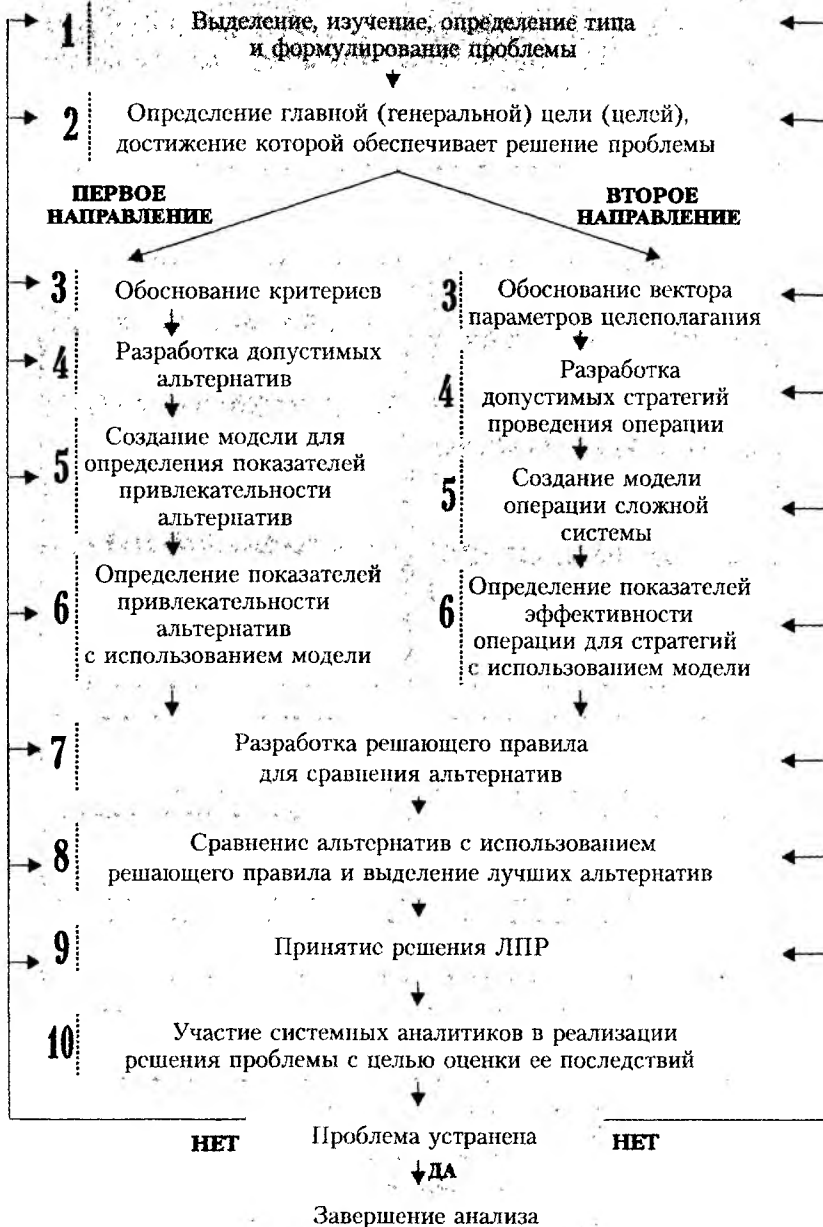


Рис. 2.1. Основные этапы анализа для двух направлений

Третьи этапы для направлений имеют различия в наименованиях, но по содержанию близки друг к другу. Для первого направления этот этап предусматривает обоснование и выбор критериев (от греч. *kriterion* — средство для суждения, мерило оценки), по которым будут оцениваться показатели привлекательности альтернатив с точки зрения их соответствия цели. Для второго направления формируется вектор параметров целеполагания, представляющий также перечень критериев, но с установлением требуемых с точки зрения достижения главной цели оценок по критериям. Фактически этот вектор представляет собой модель главной цели. Более подробно основные общие положения о критериях будут рассмотрены в п. 2.5, а о векторе параметров целеполагания и ряду других методологических положениях теории эффективности — в четвертой главе.

После обоснования критериев и вектора параметров целеполагания осуществляется разработка или генерирование допустимых альтернатив решения исследуемой проблемы. Допустимыми называются такие альтернативы, которые обеспечивают решение проблемы, являются рациональными с точки зрения достижения цели. Одной из основных проблем, которая может решаться с использованием в рамках системного анализа методов теории эффективности, является выбор лучшей стратегии проведения операции (способа применения активных средств — оперирующей системы и ресурсов). В соответствии с этим разрабатываются или выбираются альтернативы — допустимые стратегии проведения операции, которые и обозначены на рис. 2.1. О других проблемах, при решении которых используется второе направление системного анализа, речь будет идти в четвертой главе. Общие рекомендации по разработке альтернатив будут изложены в п. 2.6.

Главная особенность варианта этапов системного анализа для первого направления заключается в том, что важное место в нем занимает построение модели для определения показателей привлекательности альтернатив. Модель отражает систему связей между компонентами проблемы, прежде всего, между целью и альтернативными средствами ее достижения с учетом основных факторов, влияющих на привлекательность альтернатив. Факторы, которые учитываются в модели, обычно делятся на внутренние и внешние (внешней среды) факторы, а также ограничения на различные ресурсы.

Вторым направлением системного анализа предусматривает обоснование решений по сложным проблемам с использованием методов теории эффективности [8, 9]. Главной особенностью этого направления является то, что важное место в нем при моделиро-

вании проблемной ситуации занимает создание динамической модели операции сложной системы.

Для моделирования проблемных ситуаций может применяться много методов. В самом общем случае выделяют предметное (материальное), аналоговое и знаковое моделирование, важнейшим видом которого является математическое моделирование [1, 8, 9]. На выбор конкретного метода моделирования влияет, прежде всего, тип анализируемой проблемы и ее особенности, обусловленные спецификой сферы деятельности, к которой она принадлежит. Подходы к классификации проблем будут рассмотрены в следующем параграфе. Охарактеризовать даже незначительную часть методов моделирования в рамках одной работы из-за их большого числа и разнообразия невозможно, да и нецелесообразно, так как работа посвящена основным положениям системного анализа и теории принятия решений. С ними можно ознакомиться по специальным источникам. В данной работе будут указываться только общие положения по моделированию при рассмотрении особенностей некоторых типов проблем в этой главе и задач принятия решений в гл. 5–9.

На шестом этапе для первого направления использование модели обеспечивает оценку допустимых альтернатив по многим критериям (измерение значений их показателей по каждому из критериев). При этом по каждому критерию определяются количественные, числовые или качественные показатели альтернатив, характеризующие их привлекательность. Для второго направления на этом этапе определяются моделированием операций показатели реального результата операции, а на его основе — показатели эффективности для всех допустимых стратегий.

Последующие этапы системного анализа для обоих направлений идентичны. Они выполняются с применением методов теории принятия решений при многих критериях. При этом сначала разрабатывается решающее правило, по которому необходимо сравнивать альтернативы. Затем по показателям привлекательности альтернатив для первого направления и показателям эффективности — для второго на основе решающего правила осуществляется сравнение альтернатив и выбор в общем случае нескольких лучших из них. Окончательный выбор одной лучшей альтернативы является прерогативой ЛПР на основе его неявной системы предпочтений.

Следует обратить внимание на то, что для обоих направлений исключены заключительные этапы, которые имелись в семи вариантах этапов системного анализа, приведенных выше, и которые были связаны с экспериментальной проверкой, проверкой эффек-

тивности решений и др. Эти этапы могут быть необходимы и значимы, но опущены преднамеренно.

Во-первых, чтобы акцентировать внимание, как было отмечено выше, на самых важных, ключевых этапах системного анализа.

Во-вторых, в последующем изложении будет показано, что такой этап, как экспериментальная проверка решения выполним, как правило, в исследовании операций, но не выполним в системном анализе более сложных, недостаточно определенных, так называемых слабоструктуризованных и неструктуризованных проблем, речь о которых пойдет в следующем параграфе.

В-третьих, практическое применение системного анализа и реализация его результатов имеет значительные особенности. В этой связи суть десятого этапа, связанного с участием системных аналитиков в реализации решения с целью определения ее последствий, рационально рассмотреть после характеристики всех предыдущих этапов, что и будет осуществлено в гл. 10.

Таким образом, в данной работе будут рассматриваться только самые основные этапы системного анализа, которые необходимо присутствуют в нем независимо от специфики решаемых проблем и их принадлежности к той или иной сфере или области деятельности.

На первый взгляд для двух рассмотренных направлений системного анализа различия в названии этапов не столь и значительны. Они касаются в основном 3–5-го этапов, да и то их наименования в какой-то мере близки. Однако их содержание различается существенно. В этом читателя убедит четвертая глава, в которой будут рассмотрены основные методологические положения теории эффективности сложных систем.

В процедуре системного анализа для обоих направлений можно выделить две взаимосвязанных части.

Первая из них включает 1–5-й этапы. Основными результатами выполнения этих этапов является выбор критериев, генерирование допустимых альтернатив и построение моделей, позволяющих определять показатели привлекательности альтернатив или показатели эффективности операций. Характерно, что выполнение этих этапов системного анализа носит творческий характер, не имеет жестких правил и алгоритмов. При их выполнении большую роль играют эвристические и логико-эвристические методы. На пятом этапе важную роль играют выбранные конкретные методы моделирования. В результате выполнения первой части системного анализа формируется модель проблемной ситуации.

Вторая часть включает остальные этапы, основная ее суть связана с решением задачи выбора из допустимых альтернатив. Эта задача выполняется с использованием методов теории принятия решений при многих критериях, рассмотрению основных положений которой посвящены гл. 5–9 работы.

Совокупность двух частей системного анализа — моделирования проблемной ситуации и решения задачи выбора из альтернатив с применением методов теории игр при многих критериях — в целом образуют модель обоснования решения по исследуемой проблеме.

Следует отметить, что основные этапы системного анализа в работе рассмотрены в обобщенном виде. При анализе проблем различных типов, как правило, имеют место нюансы, которые будут отмечаться при изложении.

Процедуры системного анализа носят, как правило, итеративный характер. Это означает, что они очень редко выполняются за один полный цикл. Обычно системный анализ проводится с неоднократным повторением исследований в полном формате или с возвратом к выполнению исследований, начиная с одного из промежуточных этапов. На рис. 2.1 это показано возвратными стрелками для случаев, когда ЛПР не удовлетворен вариантом решения или проблема не устранена.

На основе рассмотренных двух направлений при проведении исследований могут использоваться различные варианты общего построения системного анализа. Среди них можно выделить пять основных вариантов.

Первые два варианта один к одному соответствуют двум рассмотренным направлениям, т.е. они предусматривают выделение лучшей альтернативы при использовании соответственно моделей проблемных ситуаций и методов теории принятия решений. Они используются в том случае, когда главная цель достаточно ясная, а для второго направления, как правило, и формализована.

Особенность третьего варианта общего построения системного анализа, основывающегося на его втором направлении, состоит в том, что в нем для повышения степени обоснованности вырабатываемых решений сочетается использование различных моделей операций исследуемых систем, например, аналитических и имитационных.

Четвертый вариант предусматривает комплексирование первого и второго направлений системного анализа. Он применяется при подготовке каких-либо операций сложных систем, например, операций группировок войск. При этом первое направление используется для выбора рационального варианта боевого состава группировки, прежде всего, количественно-качественного состава



вооружения и военной техники. Для определения показателей качества альтернатив строится модель проблемной ситуации на основе методологических положений квалиметрии, которые будут рассмотрены в третьей главе. После реализации системно-аналитической процедуры применительно к первому направлению, проводится такая же процедура для второго направления. Она позволяет определить рациональные способы проведения операции группировки войск. Комплексирование двух направлений системного анализа значительно повышает обоснованность принимаемых решений и планов. Четвертый вариант системно-аналитической процедуры используется не только в вооруженных силах. При подготовке многих операций сложных систем, как правило, определяются требуемые силы и средства, а затем — способы проведения операций.

На основе первого направления может организовываться пятый вариант общего построения системно-аналитических процедур, который характерен для обоснования решений на стратегическом уровне, которое называется планированием [10, 25, 26]. Для таких уровней характерна значительная неопределенность главной цели. А если цель определена неверно, то не будет обосновано рациональное решение со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями. В связи с этим в процессе планировании поведутся две взаимосвязанные процедуры системного анализа по первому варианту. Первая из них предназначена для обоснованного выбора главной цели, а вторая — рациональных путей и способов ее достижения. На проведении двух таких взаимосвязанных процедур основывается программно-целевой метод планирования [26].

Рассмотренные пять вариантов построения системного анализа (с учетом его этапов, рассмотренных выше для двух направлений) представляют собой модели обоснования решений по сложным проблемам или системно-аналитические образцы развертывания исследований. Видимо, специалисты из различных областей науки и практики могут привести и другие варианты построения системно-аналитических процедур.

Уже из беглой характеристики основных этапов вариантов системного анализа для двух направлений видна их сложность. Особенно с учетом того, что для значительной части этапов не только не разработаны четкие правила и алгоритмы их выполнения, но и зачастую недостаточно разработаны или даже отсутствуют научно обоснованные рекомендации. Данное обстоятельство дает основания специалистам высказывать мнение о том, что при выполнении определенной части этапов системного анализа сочетается наука и искусство. В этой связи в процедурах системного

анализа по сложным проблемам в различных сферах человеческой деятельности участвует значительное число людей, роли и функции которых существенно различаются.

Основную роль в системном анализе, как уже отмечалось ранее, играет лицо, принимающее решение. ЛПР называют человека, имеющего цель, которая служит мотивом постановки задачи и поиска путей ее решения. Оно принимает решение на основе учета объективных факторов и своей системы предпочтений и несет за него ответственность. Под системой предпочтений понимается совокупность субъективных представлений ЛПР о наиболее важных, существенных и значимых признаках, по которым оно выбирает лучшую или удовлетворяющую его альтернативу. Наряду с индивидуальным может быть и групповое ЛПР — группа лиц, вырабатывающих коллективное решение на основе некоторого принципа согласования индивидуальных предпочтений членов группы.

Кроме ЛПР в процессе подготовки и обоснования решения могут участвовать следующие субъекты, имеющие свои персональные позиции [25]:

- ✓ владделец проблемы (он, по мнению окружающих, должен решать проблему и несет ответственность за принятие решения; владделец может совпадать или не совпадать с ЛПР, быть только одним из участников группового ЛПР или вообще не участвовать в обосновании решения);

- ✓ акторы — это активные группы людей, интересы которых затрагивает решаемая проблема. Интересы и цели акторов могут совпадать, расходиться или быть противоположными. Акторы стремятся к достижению своих целей с использованием различных средств, способов и последовательности действий, способствуя, занимая нейтральную позицию или противодействуя решению проблемы;

- ✓ член группового ЛПР, принимающего согласованное решение;

- ✓ избиратель, являющийся одним из многих участников процесса принятия коллективного решения — выборов;

- ✓ эксперт — специалист высокого класса по решаемой проблеме (он располагает информацией по проблеме, оказывает помощь ЛПР в сборе и анализе информации и формировании решений, отвечает за свои рекомендации, но не несет непосредственной ответственности за результаты ее решения, т.е. выполняет вспомогательную роль, осуществляя информационную и аналитическую работу по уменьшению неопределенности информации);

- ✓ консультант по обоснованию решения (он является системным аналитиком, роль которого сводится к помощи ЛПР и вла-

дельцу проблемы в правильной постановке проблемы, выполнении неформальных этапов системного анализа, применении методов теории принятия решений, выявлении позиций акторов, организации работы с экспертами). Консультант не вносит своих предпочтений и оценок в процесс обоснования решения, а только помогает другим правильно взвесить «за» и «против» и прийти к разумному компромиссу;

✓ помощник ЛПР.

На принятие решения косвенным образом влияет окружение ЛПР, сотрудники той организации, от имени которой ЛПР принимает решение. Эти лица имеют общие взгляды, общие ценностные установки, и ЛПР учитывает их предпочтения и политику [25].

В последующем изложении в этой и других главах, в первую очередь посвященных вопросам теории принятия решений, будут характеризоваться роли и функции основных лиц, участвующих в подготовке и обосновании решений, и будет показываться изменение ролей и функций в зависимости от сложности проблем.

Направления, варианты и этапы системного анализа были охарактеризованы предельно кратко и в обобщенном виде. Сложность системно-аналитических процедур предопределяет необходимость более детального рассмотрения их этапов (см. ниже, а также гл. 3–9).

Выше было отмечено, что ряд важных этапов системного анализа носят неформальный характер. При их выполнении ЛПР, системный аналитик и эксперты сочетают науку и искусство, эвристические и логико-эвристические методы. В современном системном анализе наблюдается устойчивая тенденция по выработке методологических подходов и рекомендаций, которые позволяют повысить обоснованность неформальных его этапов. Ряд таких рекомендаций будет рассмотрен в следующих параграфах данной главы.

## **2.2. Выделение, изучение, определение типа и формулирование проблемы**

Выделение, изучение, определение типа и формулирование проблемы является исходным и весьма ответственным этапом системного анализа. При этом сначала необходимо выделить, идентифицировать проблему. Даже если ее владелец уже ее сформулировал. Ведь владелец проблемы не является специалистом по системному анализу. Представленное им описание представляет со-

бой веский аргумент в пользу существования проблемы, но очень редко она выделена и верно сформулирована. Это обуславливается сложностью выделения, так как проблема является отражением проблемной ситуации, т.е. объективно существующего противоречия между потребностями людей в каких-либо знаниях или практических действиях и незнанием путей, средств, методов, способов, приемов получения этих знаний или осуществления действий.

При выделении и формулировании проблемы необходимо уяснить возникшую ситуацию и убедиться в наличии проблемы. Как правило, в любой конкретной ситуации главная проблема сразу не видна или редко бывает выражена четко. Прямо или косвенно она связана с другими, часто многочисленными, проблемами. Специалисты по системному анализу рекомендуют относиться к любой реальной проблеме не как к отдельной, изолированной, а как к комплексу, клубку взаимосвязанных и взаимозависимых проблем — проблематике [5, 10]. Поэтому нужно составить полный перечень основных проблем и выявить, решение какой из них приводит к разрешению ситуации и, следовательно, установить, какая проблема является главной. Затем следует дать первоначальную приблизительную формулировку. Если объективно существующая проблема не выделена, а вместо нее ошибочно выявлена и сформулирована другая проблема, то реально существующая проблема решена быть не может. Пример ошибочного выделения и формулирования проблемы будет приведен ниже.

Первоначальная формулировка проблемы носит целевой характер и является упрощенной, приблизительной [5]. Поэтому имеется необходимость в глубоком и детальном изучении проблемы, проверке адекватности первоначальной формулировки, в ее уточнении. При изучении целесообразно руководствоваться рядом рекомендаций, выработанных специалистами [5, 10].

I. Необходимы изучение и учет целей, проблем и способов действий надсистемы, в которую входит в качестве подсистемы исследуемая проблемосодержащая система. Это очень важно, так как цели функционирования анализируемой системы определяются надсистемой, подчинены достижению ее целей. Аналогичное изучение необходимо и для «окружения» проблемосодержащей системы: систем различных рангов с их проблематикой, образующих внешнюю среду и существенно влияющих на решение проблем исследуемой системой.

II. При изучении проблемы следует учесть видение проблемы и отношения к ней «заинтересованных лиц». Основными из них являются владелец проблемы, ЛПР, акторы (активные группы

людей, действия которых необходимы для решения проблемы), пассивные участники, на которых положительным или отрицательным образом скажутся последствия решения проблемы, и системные аналитики с помощниками [5]. При этом «заинтересованность» понимается не только как прямой интерес к решению проблемы, но и как отрицательное отношение к нему, в том числе сознательное целенаправленное противодействие. К действительно «заинтересованным» лицам относятся владелец проблемы, ЛПР, акторы и пассивные участники, которые имеют свое видение проблемы и отношение к ней. Системные аналитики и их помощники включены в «заинтересованную» группу с точки зрения минимизации их влияния на действия действительно «заинтересованных» лиц (своеобразная «мера безопасности») [5].

III. Важным подспорьем в изучении сложных проблем являются существующие наработки по их классификации. Классификация сложных проблем осуществляется по различным основаниям. Таких оснований можно выбрать значительное количество. Это обуславливается множеством проблем, существующих в различных областях деятельности человека и общества и обладающих своей спецификой. Вместе с тем, среди оснований необходимо и можно выделить наиболее значимые и характерные. К их числу относятся следующие основания [5, 6, 10, 25]:

- 1) возможность использования для описания и моделирования математических методов и точных алгоритмов;
- 2) количество людей, которые заинтересованы в решении проблемы или интересы которых затрагивает ее решение;
- 3) масштабность проблемы;
- 4) принадлежность проблемы к определенной области человеческой деятельности;
- 5) важность и актуальность проблемы;
- 6) требуемая периодичность решения;
- 7) проявление фактора времени в решаемой проблеме;
- 8) решаемость проблемы.

Можно также выделять проблемы и по другим основаниям: главные и не главные, явные и неявные, внутренние и внешние и другие проблемы.

Рассмотрим типы проблем, которые могут быть выделены по восьми приведенным выше основаниям.

1. По возможности использования для описания и моделирования математических методов и точных алгоритмов проблемы Г. Саймон и А. Ньюэлл предложили разделить на хорошо структуризованные, слабоструктуризованные и неструктуризованные проблемы [5, 6, 25].

В хорошо структуризованных проблемах все основные компоненты и существенные связи и отношения между ними выяснены настолько хорошо, что могут быть выражены математическими зависимостями и оценены количественными показателями. При правильном определении типа проблемы, цели и выборе или разработке корректной модели зачастую можно найти единственное, оптимальное, во всяком случае, с точки зрения применяемого метода, т.е. наилучшее решение. Это решение является объективным и не зависит от предпочтений ЛПР. Говорят, что обоснование решений по хорошо структуризованным проблемам осуществляется с использованием объективных моделей. В таких моделях проблема формализуется, как правило, в виде целевой функции. При этом оказывается формализованной цель, ее связь с переменными и ограничениями, а также критерий для нахождения оптимальной альтернативы.

Если проблема хорошо структуризована, то для создания ее модели и обоснования решения в рамках процедур анализа как для первого, так и второго направления используются соответствующие особенностям проблемы методы исследования операций. Исследование операций, как было отмечено в предыдущем параграфе, является научной дисциплиной, изучающей и разрабатывающей формально-математические методы обоснования решений на основе анализа количественных зависимостей, т.е. в условиях определенности. В настоящее время исследование операций включает математическое программирование, теорию статистических решений, теорию игр, теорию массового обслуживания, сетевое планирование и управление, теорию управления запасами, теорию назначений, теорию расписаний, теорию выбора маршрутов и др. [22, 27–29].

Важной особенностью хорошо структуризованных проблем является то, что при обосновании решений сравнение альтернатив осуществляется по одному критерию. В качестве критерия часто выбирается существенное свойство или признак исследуемого объекта. Интенсивность проявления этого свойства характеризуется количественным показателем.

Слабоструктуризованные проблемы называют еще смешанными проблемами. Это обуславливается тем, что в них присутствуют хорошо формализуемые компоненты и связи, а также компоненты и связи, которые не могут быть оценены объективными средствами. Существенной особенностью слабоструктуризованных проблем является то, что альтернативы оцениваются по некоторому количеству критериев. Причем эти критерии соизмеримы по важ-

ности между собой, что позволяет вести речь об общем векторном критерии, включающем некоторое число частных критериев.

Хорошо формализуемые компоненты и связи позволяют создать для определения показателей объективные модели. Все показатели, характеризующие привлекательность альтернатив, имеют количественные значения. К компонентам и связям слабоструктурированных проблем, которые неизвестны и не оцениваются объективными средствами, относятся связи между критериями, относительная важность критериев. Для таких условий определить оптимальную альтернативу нельзя. Имеется только возможность выделить эффективные или лучшие варианты. Для выбора лучших альтернатив при многих объективных критериях используются субъективные знания и предпочтения ЛПР. Это дало основание утверждать, что при обосновании решений по слабоструктурированным проблемам принципиально отсутствует информация, которая бы позволила объективно оценить возможные последствия выбора альтернативы [25].

Для слабоструктурированных проблем важным понятием является понятие недоминируемых или оптимальных по Эджворт—Парето (Э—П) альтернатив [9, 22, 25, 30, 31]. Эти альтернативы называются также эффективными. Недоминируемой альтернативой называется такая альтернатива, которая превосходит другие альтернативы хотя бы по одному показателю. Выделение множества оптимальных по Э—П альтернатив осуществляется сравнением по определенному алгоритму значений показателей всех альтернатив с отсеиванием доминируемых альтернатив, уступающих по значениям показателей другим альтернативам. Очень часто окончательный выбор лучшей или лучших альтернатив осуществляется ЛПР из множества недоминируемых альтернатив. Более подробно об оптимальных по Э—П альтернативах речь будет идти в седьмой главе.

Таким образом, для обоснования решений по слабоструктурированным проблемам характерно сочетание объективных моделей проблемных ситуаций или моделей операций сложных систем, которые обеспечивают измерение или определение количественных значений показателей привлекательности альтернатив, с субъективно учитываемыми ЛПР связями между этими показателями. Это обстоятельство позволяет утверждать, что при обосновании решений по слабоструктурированным проблемам используются субъективно-объективные модели.

Для неструктурированных проблем характерна недостаточная выясненность и определенность компонентов и связей и отношений между ними. О таких проблемах говорят, что их структура

плохо определена. К этому типу относятся многие проблемы многокритериального выбора. Например, выбор профессии, учебного заведения, спутника жизни, выбор при покупке автомобиля, дома и т.д. Наиболее многочисленными и значимыми среди неструктуризованных проблем являются проблемы управления сложными системами, в первую очередь принятия управленческих решений и планирования, особенно на стратегическом уровне. Объективную модель для неструктуризованной проблемы создать невозможно. Это означает, что объективными средствами принципиально невозможно определить как значения частных показателей привлекательности альтернатив, так и относительную важность этих показателей, т.е. невозможно построение объективной модели проблемной ситуации в целом [25]. Поэтому считается, что при обосновании решений по таким проблемам используются субъективные модели. Важно иметь в виду, что по неструктуризованным проблемам возможно обоснование только эффективных или оптимальных по Э—П решений, которые часто называются рациональными решениями.

Это принципиально, так как очень часто ведется речь о принятии оптимальных решений по слабоструктуризованным и неструктуризованным проблемам. А нередко можно услышать и о «наиболее оптимальных» решениях. Видимо, сказывается влияние специалистов по исследованию операций и внешняя краснота термина «оптимальный».

При краткой характеристике второго этапа системного анализа с использованием методов теории эффективности было отмечено, что при определении цели обязательна ее формализация. Для неструктуризованных проблем это очень сложно или даже невозможно. Сложно или невозможно и создание объективных моделей операций для таких проблем. Следовательно, при использовании традиционных положений и методов теории эффективности реализация второго направления системного анализа для обоснования решений по неструктуризованным проблемам затруднена. Обоснование решений по таким проблемам часто осуществляется с использованием первого направления системного анализа. При этом считается, что строятся субъективные модели проблемных ситуаций и используются субъективные модели обоснования решений в целом. Вместе с тем полная и безоговорочная субъективность таких моделей требует существенных уточнений и пояснений, которые будут изложены при рассмотрении классификации проблем по второму основанию.



2. По количеству людей, которые заинтересованы в решении сложной проблемы или интересы которых затрагивает ее решение, проблемы можно разделить на коллективные и индивидуальные.

К коллективным проблемам относятся такие проблемы, которые касаются коллективов людей. Эти коллективы могут быть различного состава, начиная от небольших коллективов мелких и средних фирм, коллективов крупных производственных фирм и банков и заканчивая странами и всем мировым сообществом. В последующем изложении такие коллективы будут называться, как это принято, организациями, организационно-техническими, социальными, социотехническими и т.п. системами.

К индивидуальным проблемам целесообразно отнести сложные проблемы отдельных лиц и проблемы, в решении которых заинтересованы небольшие группы людей, жестко связанные общими близкими интересами. Это может быть, например, семья, небольшая группа родственников и т.п. Их можно считать групповым ЛПР, обосновывающим и принимающим решение по сложной проблеме в своих индивидуальных или групповых интересах.

Выделение этих типов проблем необходимо по одному важному обстоятельству. Дело в том, что утверждают о моделировании при обосновании решений по неструктуризованным проблемам преимущественно предпочтений ЛПР. Конечно, предпочтения ЛПР в выборе варианта играют значительную роль. Однако это не означает, что в субъективной модели не моделируется реальность, в которой существует, развивается и решается неструктуризованная проблема. Пусть, например, руководитель фирмы решает проблему выпуска новых товаров. При этом он самым тщательным образом изучит реальное положение на рынке, в том числе спрос и предложение, ожидаемые затраты на организацию производства, стоимость и конкурентоспособность новых товаров, возможности и предположительные действия конкурентов и т.д. Разработанная субъективная модель проблемной ситуации при обосновании решения должна основываться на реальной обстановке. Эта обстановка определяет рамки учета системы предпочтений ЛПР, которые должны позволить принять не волюнтаристское решение, а такое решение, которое позволит встроиться фирме в деловой мир и найти свою нишу в непростом мире бизнеса. Причем если взять несколько родственных фирм, то их руководители при правильном обосновании решений по одинаковым проблемам примут различные, но близкие рациональные решения.

Все это позволяет вести речь о субъективно-объективированных моделях обоснования решений по множеству важных неструктуризованных проблем. К таким проблемам относятся, прежде все-

го, управленческие проблемы. Объективация этих моделей и обоснованных с их помощью решений, как уже отмечалось выше, осуществляется факторами действительности, которые обязательно должны учитываться в моделях обоснования решений и планировании.

Субъективно-объективированные модели используются при решении практически всех коллективных неструктуризованных проблем, так как деятельность коллективов всегда проходит в обстановке, включающей объективные и субъективные компоненты окружающей действительности.

Совсем другое положение дел имеет место при обосновании решений по индивидуальным проблемам, связанным с выбором места работы, дома, профессии, вуза для учебы, автомобиля, страны для туристической поездки и т.п. Здесь модель обоснования решений действительно является, по сути, моделью предпочтений ЛПР. Например, широко известен пример обоснования решения по выбору семьей дома для покупки [10]. Выбор осуществлялся из трех вариантов. Каждый вариант оценивался по восьми критериям. Часть критериев (размеры дома, срок постройки, стоимость) характеризовались объективными количественными показателями. Остальные же критерии (удобство автобусных маршрутов, окрестности, общее состояние, двор, современное оборудование) оценивались качественно. Если эту проблему дать для решения нескольким семьям, то каждая из них может выбрать для покупки разные дома. Это обуславливается тем, что семьи имеют собственные приоритеты по используемым критериям. Объективно лучшего дома в такой проблеме выбора просто не существует. В обосновании решения по ней, несомненно, доминирует именно субъективная модель предпочтений конкретного ЛПР. Все сказанное для проблемы выбора дома относится и к другим подобным проблемам выбора, некоторые из которых указаны выше.

Вопрос о моделях, которые используются в процессах обоснования решений, будет еще рассматриваться в 5-й главе при изложении основных положений теории принятия решений.

В дальнейшем изложении неструктуризованные проблемы с использованием субъективно-объективированной и субъективной моделей обоснования решений будут иногда называться соответственно неструктуризованными проблемами первого и второго вида. Естественно, как уже отмечалось выше, определение оптимальных альтернатив при обосновании решений по таким проблемам невозможно. Обычно, речь идет о выделении рациональных или лучших альтернатив.

Методы решения задач выбора из сформированных альтернатив при обосновании решений по слабоструктуризованным и неструктуризованным проблемам занимается теория принятия решений при многих критериях. Преимущественно именно эти методы будут рассматриваться в главах данной работы, посвященных теории принятия решений.

3. По уровню (рангу) и масштабу можно выделить проблемы, например, следующих типов:

- ✓ глобальные проблемы, имеющие значимость для всего населения Земли;

- ✓ региональные проблемы, значимые для населения определенных регионов;

- ✓ внутригосударственные проблемы, которые приходится решать органам государственной власти; их можно разделить на стратегические проблемы, касающиеся общегосударственных долгосрочных интересов, и тактические проблемы, которые отражают наличие динамичных краткосрочных противоречий в различных областях деятельности общества и государства;

- ✓ краевые, областные, районные, городские, поселковые, сельские и др. проблемы;

- ✓ проблемы, корпораций, фирм, банков, различных организаций и учреждений и т.п. различных уровней;

- ✓ проблемы мелких групп, семей и отдельных людей.

Можно выделять и другие более масштабные или промежуточные по масштабу уровни проблем. Однако не это главное. Выделение проблем по масштабу важно с методологической точки зрения в том смысле, что всегда наиболее приоритетными для решения соответствующими органами являются более масштабные проблемы их уровня. Это обуславливается более масштабными и долговременными последствиями несвоевременного или неудовлетворительного решения таких проблем.

В самом общем плане по уровню и масштабу множество проблем принято делить на проблемы стратегического и тактического уровней [5, 10, 25]. Как отмечалось в п. 2.1, процесс обоснования решений по проблемам стратегического уровня называется планированием.

4. В самом общем случае по принадлежности к различным областям деятельности человека и общества значительный смысл имеет деление проблем на внутринаучные и внешненаучные проблемы. Это обуславливается тем, что многочисленные внешненаучные проблемы относятся к самым различным областям чувственно-практической деятельности общества и человека. Для обеспечения решения этих проблем с использованием специально разра-

ботанных методов предназначена наука. Вместе с тем наука имеет собственную логику развития и много своих проблем, которые она решает сама. Однако внешненаучные, практические проблемы являются для нее всегда более приоритетными по сравнению с собственными проблемами.

По принадлежности к определенной конкретной области предметно-практической или духовной человеческой деятельности различаются различные проблемы: экономические, политические, идеологические, дипломатические, научные, технические, экологические, философские, медицинские, военные, методологические, финансовые и другие. Однако проблемы в «чистом» виде встречаются редко. Подавляющее большинство проблем из различных сфер деятельности тесно переплетены друг с другом, являются взаимосвязанными и взаимозависимыми. Так, экономические проблемы связаны и взаимозависимы с политическими, техническими, научными, финансовыми, экологическими и др. проблемами. В этой связи такая проблема не может быть изучена и сформулирована только на «языке» экономики. Необходимо ее всестороннее изучение и описание с учетом влияния всех основных факторов на их «языках», т.е. с учетом различных аспектов проблемы. Такое совместное агрегированное описание сложной проблемы в терминах нескольких «языков» позволяет охарактеризовать ее с достаточной полнотой. Рассмотренный агрегат в системном анализе принято называть конфигуратором [5].

Рассмотрение всех этих типов проблем для системного анализа очень важно, так как каждой из них могут быть присущи свои уникальные особенности. И, несмотря на наличие в процедурах системного анализа общих по наименованию этапов, содержание этапов для сложных проблем из различных сфер человеческой деятельности может иметь свою специфику. Даже родственные слабоструктуризованные или неструктуризованные проблемы в различных странах наряду с общими подходами всегда имеют особенности, характерные для конкретной страны, и могут иметь несколько отличающиеся друг от друга решения. В связи с этим, видимо, необходимо с известной долей понимания истинного положения дел относится к попыткам автоматизации решения системных задач и описания специальной экспертной системы — Универсального Решателя Системных Задач в известной работе Д. Клира по системологии — «Системология. Автоматизация решения системных задач» [32]. В п. 2.1 отмечалась положительная тенденция все более полного описания неформальных этапов системного анализа. Однако сложные проблемы, особенно неструктуризованные, как правило, уникальны и требуют во многом конкретных подходов к их решению. В этой связи можно отметить, что в указанной работе

много интересного и полезного, но о полной автоматизации решения сложных проблем еще можно только мечтать, если это вообще будет возможно в обозримом будущем.

5. По признаку важности выделяются первостепенной важности, очень важные, важные, не очень важные, не важные и т.п. проблемы. Ранжирование проблем по важности очень необходимо. Это предопределяется тем, что проблем в практической деятельности и в теории всегда существует множество. Причем их выявляется такое число, которое не может быть решено из-за ограниченных финансовых, интеллектуальных, временных и других ресурсов. Поэтому приходится выбирать из них для первоочередного анализа наиболее важные проблемы.

Важность проблем, как правило, не является постоянной. Она может изменяться с течением времени. В этой связи используется такая характеристика проблем как актуальность, которая неразрывно связана с важностью. Актуальность (от лат. *aktualis* — деятельный) означает «важный в настоящее время; назревший, требующий своего разрешения» [33, с. 35]. Следовательно, актуальной является важная в настоящее время проблема. Актуальность проблем может быть реальной и искусственно созданной. Проблема реально актуальна, если она существует в действительности. В то же время могут иметь место случаи, когда в силу определенных причин важность проблем на данное время искусственно завышается. Такие проблемы называются конъюнктурными или «модными». На их решение могут быть потрачены значительные ресурсы, но отдача от этого будет гораздо меньше ожидаемой. Особенно опасно выбирать «модные» проблемы для решения в диссертационных работах. Известны случаи, когда соискатели ученых степеней тратили много сил и времени на решение таких проблем, но оказывались «у разбитого корыта», так как «мода» менялась, и наработки оказывались не нужными.

6. Требуемая периодичность решения является важным основанием для классификации сложных проблем, с которыми приходится иметь людям в своей разнообразной деятельности. По данному основанию принято выделять разовые и повторяющиеся проблемы.

Разовые проблемы могут быть решены за один цикл или за некоторую серию циклов анализа и действий. Примеров проблем первого типа можно привести много. Это индивидуальные проблемы выбора дома, профессии, вуза для учебы, места работы и т.п. К проблемам данного типа относятся и многие проблемы коллективные. Например, проблемы выпуска новых товаров, вложения финансовых средств в определенный проект, которые анализиру-

ются и решаются, как правило, за один цикл. Примерами разовых проблем, решаемых за несколько циклов анализа и действий, является создание сложного образца техники, реализации какого-либо сложного проекта. При решении подобных проблем после первичного обоснования и принятия решения на создание образца или реализации проекта следуют последующие циклы анализа и скорректированных действий до создания промышленного образца или реализации проекта.

Проблемы второго типа можно разделить на периодически и регулярно повторяющиеся проблемы.

Примерами периодически повторяющихся проблем являются проблемы диагностики заболеваний, поиска полезных ископаемых с помощью космических средств и др. Это проблемы, которые возникают и решаются по мере необходимости. Для обоснования решений по таким проблемам часто используются экспертные системы, являющиеся одним из ответвлений исследований в области искусственного интеллекта.

Особое место в человеческой деятельности занимают периодически повторяющиеся управленческие проблемы, требующие постоянного осуществления с необходимой периодичностью циклов анализа и действий. Подавляющее большинство этих проблем относятся к слабоструктуризованным или неструктуризованным проблемам. Как было отмечено выше, оптимальные решения по таким проблемам обосновать нельзя. Эффективность или рациональность принятых по ним решений и планов априорно проверить нельзя. Поэтому проверка решений и планов осуществляется в процессе их практической реализации. И одной из важнейших задач органов управления является постоянное изучение откликов управляемой системы на управляющие воздействия и периодическое повторение циклов системного анализа для корректуры решений и планов, а при необходимости — и кардинального их изменения. В этом заключается основная суть принципа «кормчего» при управлении сложными системами.

Среди управленческих проблем немало и таких, которые также являются повторяющимися проблемами, но их принято решать с установленной дискретностью. Примеров подобных проблем можно привести также немало. Большинство из них связано с разработкой и корректурой планов и программ. Например, для координации научно-технической деятельности в министерствах и ведомствах бывшего СССР и советах министров союзных республик разрабатывались и утверждались соответственно отраслевые и республиканские среднесрочные и краткосрочные (годовые) планы развития науки и техники [34]. Среднесрочные планы

разрабатывались на пять лет на основе прогнозирования направлений развития научно-технического прогресса и решения выявленных проблем. Жесткость циклов смягчалась возможностью внесения изменений в принятые планы в установленном порядке. На государственном уровне применялось долгосрочное планирование с разработкой прогнозов, комплексных программ научно-технического прогресса и основных направлений развития науки и техники на 20 лет [34].

Следовательно, цикличность в принятии или корректировке решений и планов характерна для управления всеми сложными системами. Вместе с тем не для всех систем приемлема твердо установленная периодичность циклов. Ведь, например, руководство какой-либо отрасли или производственной фирмы при изменении конъюнктуры на рынке товаров не будет придерживаться строго установленной периодичности анализа и корректировки решений и планов, а будет проводить постоянный анализ ситуации и корректировать решения и планы по мере необходимости.

7. По проявлению фактора времени проблемы можно условно разделить на динамические и статические проблемы.

К динамическим проблемам относятся такие проблемы, параметры которых изменяются с течением времени. Так как «ничто не вечно под Луной», то все проблемы в абсолютном плане являются динамическими. Вместе с тем для обоснования решений по сложным проблемам важна не абсолютная, а относительная динамичность проблем — относительно продолжительности цикла принятия решения. При этом цикл принятия решения включает период наблюдения и период обоснования решения. Для ЛПР важно то, существенно ли изменяются параметры проблемы за время наблюдения и обоснования решения. Процедуры системного анализа применяются для таких сложных проблем, параметры которых за это время не изменяются или изменяются незначительно. Поэтому можно считать, что при обосновании решений по сложным проблемам во временных рамках одного цикла анализа ЛПР имеет дело со статическими проблемами, т.е. осуществляется дискретная подготовка и обоснование решений.

Динамизм разовых проблем учитывается при моделировании ее конкретного состояния в конкретный период времени. Динамичность управленческих проблем учитывается, как уже отмечалось выше, непрерывным наблюдением за поведением системы под влиянием управленческих воздействий и периодическим уточнением решений и планов.

8. По признаку решаемости выделяются принципиально не решаемые, не решаемые в настоящее время, не решаемые с прием-

лемыми затратами ресурсов, решаемые частично, решаемые полностью и др. проблемы. Правильно определить тип проблемы по этому основанию важно, так как можно затратить впустую много ресурсов на не решаемую или трудно решаемую проблему. Известный специалист по системному анализу и исследованию операций Р. Акофф рекомендовал следующие способы обращения с проблемами в зависимости от их решаемости [5, 26]:

1) не решать трудно решаемую проблему, игнорировать ее, надеясь, что она со временем исчезнет, естественно, принимая меры по смягчению последствий существования проблемы;

2) решать проблему частично, как правило, осуществив декомпозицию ее на частные проблемы и решая наиболее значимые из них, таким образом, смягчая ее последствия;

3) решать проблему полностью, если это возможно с приемлемыми затратами интеллектуальных, материальных, финансовых ресурсов и времени;

4) устранить трудно решаемую или не решаемую проблему, «растворить» ее, переделав систему, в которой она существует, или внешнюю среду.

Сочетания восьми рассмотренных выше оснований классификации дают множество возможных типов проблем. Конечно, основания неравнозначны. Наиболее важным из них является первое основание. Важны и последующие три основания.

Из изложенного выше следует чрезвычайную важность правильного определения типа проблемы, по которой будет обосновываться решение. Это обуславливается тем, что подходы к моделированию и выбору альтернатив для проблем различных типов существенно разнятся. Ошибка в определении типа решаемой проблемы по этому основанию обрекает все последующие этапы системного анализа на неудачу. Наиболее часто встречающейся ошибкой в определении типа проблемы является ее сведение к более простой проблеме. Так, например, слабоструктуризованные проблемы нередко пытаются свести к хорошо структуризованным проблемам, что позволяет применить для обоснования решений неплохо разработанные методы исследования операций. Однако полученные при этом единственные «оптимальные» решения таковыми не являются, а попытка их реализации может обернуться существенными отрицательными последствиями.

Не исключено полностью неправильное выделение, формулирование и определение типа проблемы. В этом плане характерным является известный пример решения «проблемы лифта» в административном центре одной из фирм [6, 27]. Его сотрудники высказывали много жалоб на большие потери времени в очередях у



лифтов арендуемого фирмой здания. Поверхностное изучение проблемной ситуации позволило сделать вывод о том, что причина недовольства сотрудников обусловлена низкой пропускной способностью лифтов. Управляющий зданием обратился за помощью в соответствующую фирму. Ее специалисты установили, что среднее время ожидания лифтов в здании действительно несколько превышает принятые нормы. Проблема была отнесена к хорошо структурированным проблемам, так как пропускная способность лифтов описывалась методами теории массового обслуживания. Фирма, занимающаяся подъемными устройствами, предложила три варианта решения проблемы: увеличение количества используемых лифтов, замену старых лифтов на быстроходные и введение специального режима использования существующих лифтов — их перевод на обслуживание только определенных этажей.

Первые два из этих вариантов оказались неприемлемы по финансовым соображениям, а третий — из-за недостаточного эффекта. Управляющий не был удовлетворен ни одним из предложенных вариантов и отложил переговоры с фирмой для более глубокого изучения проблемы. Ее суть он обсудил с некоторыми своими подчиненными.

Таким образом, о «проблеме лифтов» стало известно специалисту-психологу, работавшему в административном центре в отделе найма персонала для ремонта и обслуживания здания. Он высказал свое видение возникшей проблемы, так как хорошо знал сотрудников. Он утверждал, что сотрудники в течение рабочего дня довольно много времени тратят для решения своих личных дел. Естественно значительные потери рабочего времени при этом они не замечают. К тому же несколько минут ожидания лифта вызывает у них раздражение. Поэтому проблема заключается не в низкой пропускной способности лифтов, а в развившемся у сотрудников своеобразном синдроме чрезмерного ожидания лифтов. Эта проблема относится к типу неструктурированных проблем. Для ее решения необходимо было обосновать способ снятия у сотрудников синдрома чрезмерного ожидания. Психолог предложил самый дешевый способ — повесить на каждом этаже у лифтов большие зеркала. Внимание сотрудниц и сотрудников при ожидании лифтов сосредоточилось на рассмотрении своих отражений. Мнимые значительные потери времени перестали ими ощущаться, поток жалоб прекратился.

Иногда высказываются сомнения, насколько достоверна эта история, но ее глубина и поучительность по смыслу весьма примечательны.

После выявления, формулирования, изучения и определения типа проблемы специалисты по системному анализу должны определить цель, достижение которой обеспечивает решение проблемы.

### 2.3. Определение главной цели

Выполнение второго этапа системного анализа должно ответить на вопрос о том, что необходимо сделать, чего надо достичь, чтобы проблема была решена, т.е. определить главную цель. В п. 2.1 отмечалось, что может определяться одна главная (глобальная, генеральная) цель или несколько таких целей. В дальнейшем для сокращения речь будет вестись, если не оговорено, просто о главной цели.

Главная цель определяется, в общих чертах, уже при выделении и формулировании проблемы и выражается, как правило, качественным требованием, например, «выбрать вариант...», «определить путь решения...», «выбрать способ действий...» и т.д. В дальнейшем при изучении и определении типа проблемы цель конкретизируется. Определение главной цели является важным этапом системного анализа. Причем более сложным, чем формулирование проблемы. Это обусловлено тем, что при изучении и формулировании проблемы дело имеют с уже реально существующей проблемной ситуацией. Обоснование управленческих решений, особенно по проблемам стратегического уровня, являющихся основными для системного анализа, определение целей как желательного состояния системы или результатов деятельности связано с прогнозированием на основе законов и закономерностей функционирования и развития проблемосодержащей системы и окружающей среды. А это сложно, неоднозначно, альтернативно. Изучение реально существующего явления всегда проще, чем прогнозирование альтернативных целей и выбор из них.

Неправильное определение цели обрекает на неудачу все последующие его этапы. Часто ошибочное определение главной цели обусловлено ошибкой в выделении и формулировании проблемы. Так, в приведенном выше примере «проблемы лифтов» сначала была идентифицирована ложная проблема недостаточной пропускной способности лифтов и определена ложная цель — увеличить их пропускную способность до требуемого уровня. Затем была выделена действительная проблема и определена правильная цель — выбрать рациональный способ устранения синдрома чрезмерного ожидания лифтов у сотрудников.

Существуют проблемы, для которых главная цель очевидна и ее определение не вызывает особых затруднений. Примером этого являются многообразные неструктуризованные проблемы с субъективными моделями выбора из альтернатив: профессии, вуза для учебы, страны для туристической поездки или отдыха, места работы, покупки автомобиля, дома и т.п. Главные цели в них определяются так: «Выбрать наиболее предпочтительную (для ЛПР) профессию (вуз, страну, место работы и т.д.)». Нетрудно заметить, что перечисленные выше проблемы относятся к проблемам тактического уровня. Имеется основание утверждать, что цели тактического уровня проще определяемы. Гораздо сложнее, как будет показано ниже, определить цели стратегического уровня.

При правильном выделении проблемы и установлении ее типа уменьшить возможность ошибки в определении цели может учет рекомендаций, вытекающих из сущности проблем и обоснования по ним решений, изложенных в предыдущем параграфе. Например, можно рекомендовать следующие общие подходы к формулировке цели для проблем различных типов (связанных с выделением лучших альтернатив):

- ✓ для хорошо структуризованной проблемы — определить оптимальную альтернативу;

- ✓ для слабоструктуризованной проблемы — выделить лучшую альтернативу с использованием субъективно-объективной модели обоснования решения;

- ✓ для неструктуризованной проблемы первого вида — выделить лучшую альтернативу с использованием субъективно-объективированной модели обоснования решения;

- ✓ для неструктуризованной проблемы второго вида — выделить лучшую альтернативу с использованием субъективной модели обоснования решения.

Однако учет этих подходов дает только самые общие ориентиры в определении цели.

Существуют проблемы, для которых главную цель определить непросто. Это обуславливается тем, что цель, как говорится, не лежит на поверхности, и для ее правильного определения необходимо глубокое и всестороннее проникновение в суть проблемы. Чаще всего к таким проблемам относятся сложные неструктуризованные проблемы, обоснование решений по которым осуществляется с использованием субъективно-объективированных моделей. Рассмотрим два примера таких проблем. Первый из них будет характеризовать возможную недостаточную определенность главной цели (целевую неопределенность) для тактического уровня, а второй — ошибку в ее определении для стратегического уровня.

*Первый пример.* В 1999–2001 гг. автор проводил занятия в одном из негосударственных вузов г. Минска по дисциплине «Методология и логика научных исследований» с группами высоко подготовленных студентов-выпускников в составе около 30 человек. Тогда подготовка к внедрению многоуровневого обучения в вузах только начиналась. В некоторых вузах для обеспечения международного статуса дипломов проводились дополнительные занятия по программе бакалаврской подготовки, на которую выделялось около 300 ч. На «Методологию и логику...» в ней отводилось 36 ч. На практических занятиях по этой дисциплине решались несколько неструктурированных проблем, речь о некоторых из них будет вестись в гл. 9. Одной из них была проблема выбора спутника жизни. На первый взгляд эта проблема является проблемой второго вида, т.е. по ней обоснование решения должно осуществляться с использованием субъективной модели. Действительно, с точки зрения здравого смысла кажется, что уж спутника жизни каждый может выбирать только на основе своих личных предпочтений. Поэтому без колебаний все студенты причислили рассматриваемую проблему в разряд неструктурированных проблем второго вида. Затем обучаемыми были определены следующие основные варианты главной цели: «сделать счастливым любимого человека», «иметь детей», «прожить счастливую жизнь с любимым человеком», «иметь семью». Какая же цель является правильной? Или, учитывая в значительной мере субъективный характер проблемы выбора, каждая из них является верной для того, кто ее определил?

Правильно определиться с типом и главной целью позволяет углубленное изучение данной проблемы. Она существенно отличается от внешне сходных с нею проблем выбора профессии, вуза, автомобиля и др. Отличия состоят в том, что для перечисленных выше сходных проблем все определяется только системой предпочтений ЛПР, так как никакие объективные существенные факторы не влияют на предпочтения при выборе. Совсем другое положение дел с проблемой выбора спутника жизни. Ведь семья является основной ячейкой общества. Поэтому общество и государство заинтересовано в создании здоровых семей, которые должны выполнять важнейшую функцию по воспроизводству и воспитанию здорового в физическом и моральном отношении нового поколения. Общество и государство предъявляют определенные требования к семье и воспитанию в них детей. При нарушении этих требований, когда они выходят за допустимые рамки, предусматриваются соответствующие меры воспитательного или карательного характера. Требования, предъявляемые обществом и

государством к семье, являются теми объективными факторами, которые должны учитываться при выборе спутника жизни.

Показательные примеры учета объективных факторов при выборе спутника жизни демонстрирует природа. В октябре 2003 г. в популярной передаче «Диалоги о животных» кандидат биологических наук И.Затевахин показал и рассказал, как создаются семьи у соколов сапсанов. Весной находят друг друга самец и самка. Самка усаживается на выступ скалы и внешне спокойно наблюдает за действиями потенциального партнера. Самец длительное время демонстрирует ей «высший пилотаж» и скоростные качества, убеждая подругу в своих достоинствах. Затем приносит ей пойманных птиц. Она соглашается на создание семьи только тогда, когда убеждается, что избранник способен защитить и прокормить свою супругу в период высиживания птенцов и будущее потомство.

Подобное происходит и при образовании пар у голубей. Любопытно наблюдать за ухаживаниями самца перед созданием семьи. Уж как голубь демонстрирует избраннице свои стать и вокал, летные и бойцовские качества, затевая бесчисленные драки с соперниками с целью показа способности защитить свое гнездо. Потом многократно кормит подругу. Все это продолжается до тех пор, пока избранница не убеждается в достаточности качеств будущего супруга. Можно привести еще много фактов из жизни животных, свидетельствующих о том, что в их инстинкты заложены объективные требования к спутникам жизни.

Человек наделен сознанием и разумом и обязан осознавать наличие объективных факторов, влияющих на выбор спутника жизни. При этом главная цель данной проблемы выбора может быть сформулирована в следующем варианте: «создание здоровой семьи и воспитание детей достойными членами общества».

Современный человек много внимания и времени уделяет приобретению престижной профессии. Но иногда забывает, что есть не менее значимая профессия — быть настоящим мужем и женой, отцом или матерью, что для семейной жизни надо обладать многими качествами, в том числе педагогическими, что надо учиться профессии семьянина, готовиться к семейной жизни. Что наряду с положительными сторонами семью подстерегают многие подводные камни, для преодоления которых необходимы труд, терпение, доброта, чуткость, такт, умение прощать недостатки и т.д., так как идеальных людей нет.

С приведенным выше вариантом главной цели можно не соглашаться, можно ее критиковать, доказывать первостепенную значимость любви в выборе спутника жизни, основанную в основном на

подсознательных факторах. Иногда с первого взгляда. Мол, голова потеряна, просто люблю, не зная точно за что, никто мне другой не нужен. И такие аргументы нельзя игнорировать. Любовь — это один из величайших даров природы человеку. Не случайно основные драмы, происшедшие в истории человечества, и драмы, описанные в литературных произведениях, неизменно связаны с ней. Можно привести примеры, когда люди встретились случайно, мгновенно влюбились, создали прекрасную семью, вырастили чудесных детей, вместе прожили долгую и счастливую жизнь. Поэтому аксиоматическое положение о том, что семья не должна создаваться без любви, наверное, опровергать никто не станет.

Все это верно, все это имеет или может иметь место. Однако вернемся к статистической прозе жизни. В Беларуси в течение первого года после создания распадаются около 10% молодых семей, а за 4 года — около 30% [35]. С 1994 г. устойчиво на каждые 100 новых браков приходится около 60 разводов, хотя в последние годы наметилась положительная динамика, то время как в 1960-е годы эта цифра составляла менее 15, а в 1970-е — около 25 [35]. Это означает, что в настоящее время распадается более половины созданных семей. Развод — это всегда частная драма двух взрослых людей. Однако наиболее пострадавшей стороной в ней является самое дорогое для человека и общества — дети. Ведь молодые люди заводят их быстро, оформляя брак зачастую ввиду перспективы скорого рождения ребенка. С 1997 г. в Республике Беларусь ежегодно выявляется более 5500 детей и подростков, оставшихся без попечения родителей (в последние годы также наметилась положительная тенденция) [36]. В 2000–2002 гг. численность детей-сирот, воспитывающихся в интернатских учреждениях, составляла около 14 000 [36]. А ведь тезис о том, что для нормального формирования из ребенка настоящей личности и гражданина необходима здоровая семейная атмосфера. Носителями аморальных явлений в обществе, пополняющих преступную среду, являются, как правило, лица, вырастающие вне семей, в неблагополучных или неполных семьях. Приведенные цифры и факты говорят о том, что проблема семьи и детей в настоящее время приобрела исключительную значимость для общества и государства. И отнюдь не случайно при проведении занятий с будущими бакалаврами автором для обсуждения и социального исследования была выбрана проблема выбора спутника жизни и создания семьи.

Следовательно, детальный анализ рассматриваемой проблемы показывает, что приведенный вариант правильного определения главной цели всесторонний, достаточно глубокий, учитывает субъективные и объективные факторы. Он не противоречит в полной

мере вариантам цели, названным молодыми людьми, неполноту и недостаточность которых, т.е. некоторую степень целевой неопределенности, показать нетрудно.

Так, главная цель — счастье любимого человека — благородная цель. Однако она весьма ограничена и поверхностна. Здесь есть место для жертвенности одного супруга, эгоизма второй половины, что может обусловить несчастье первой. О здоровой семье, основанной на компромиссе и стремлении сделать супругов счастливыми друг друга, речь не идет. В определенной мере забыты дети, закономерно не предусмотрена ответственность супругов за их воспитание.

Вторая цель — иметь детей — всецело заслуживает похвалы. Говорят, что если хочешь иметь с человеком детей, то ты его любишь. Вместе с тем в ней упущены очень важные вопросы о здоровой семье, о воспитании детей достойными членами общества.

Выбор в качестве главной цели счастливую жизнь с любимым человеком, несомненно, содержит много положительного. Все же лучше вести речь о создании хорошей семьи, рождении и воспитании хороших детей, что и составляет важнейшие и конкретные компоненты человеческого счастья.

Иметь семью — это очень важная цель. Однако, как говорится, жить — хорошо, а хорошо жить — еще лучше. Поэтому лучше стремиться выбрать спутника жизни, с которым можно будет создать здоровую семью, вырастить хороших детей.

В заключение разговора о выборе спутника жизни хотелось бы надеяться, что автору удалось убедить читателей, особенно молодых, что рассмотренная проблема является именно неструктуризованной. Обоснование решения по ней необходимо осуществлять с использованием субъективно-объективированной модели, в которой переплетаются субъективные стремления, желания и предпочтения ЛПР и объективные требования и ограничения реалей, с которыми неизбежно столкнется молодая семья. В соответствии с этим и должна определяться главная цель. Жизненный опыт показывает, что семьи, созданные только на основе пылкой, страстной, «безумной» любви часто являются недолговечными, быстро разрушаются «под ударами судьбы». Особенно если это происходит в очень молодом возрасте.

Ведь в Беларуси основная часть «сильной» половины вступает в первый брак в 20–29 лет, а «слабой» — в 18–24 года [35]. При этом средний возраст для парней в 1980–2002 гг. довольно стабильно составлял 23–25 лет, а для девушек — 21–23 года [35]. Вряд ли в этом возрасте кто-либо из них стал «на ноги» и готов взять на себя ответственность за обеспечение созданной семьи.

Может быть, заслуживают внимания традиции развитых стран, в которых браки чаще всего заключаются на 5–7 лет позже, а в Японии, кроме того, когда молодые люди способны обеспечить не только свои семьи, но и родителей. При этом число скороспелых разводов гораздо меньше. Видимо, к этому возрасту кроме получения профессии, возможности самостоятельного материального обеспечения будущей семьи молодые люди приобретают и некоторый жизненный опыт, который помогает им сквозь «розовые очки» любви видеть и реальные как достоинства, так и недостатки избранников и избранниц.

*Второй пример.* Этот пример будет приведен применительно к управлению очень сложными системами стратегического уровня. Оно, как известно из теории управления, осуществляется органами управления и основывается на принимаемых ими решениях и разработанных планах и программах. Планы и программы представляют собой детально разработанные решения с определением последовательности, способов и сроков достижения частных и общей, глобальной цели. Одним из важнейших и необходимых условий успешного управления является обоснование решения по двум основным проблемам — проблеме определения глобальной цели и проблеме определения способов ее достижения. При этом под целью управления понимается будущее желательное состояние сложной системы, а под способами — силы и средства, использующиеся ресурсы, способы их действий и использования при достижении частных и общей цели.

Значимость проблемы определения глобальной цели для управления сложной системой стратегического уровня и ее жизнедеятельности исключительно велика. В самом общем случае можно утверждать, что цель должна определяться с учетом собственных закономерностей сложной системы и закономерностей внешней среды. Правильно определенная цель субъективна по форме, так как определяется людьми, и объективна по содержанию, так как соответствует закономерностям развития системы и среды. Если цель определена неправильно, то последствия управления сложной системой по достижению ложной цели могут быть плачевными, вплоть до катастрофических из-за конфликта с объективными закономерностями. Естественно, что последствия для сложных систем тактического уровня носят тактический масштаб. Особенно масштабны, потенциально катастрофичны и долговременны последствия определения и реализации ложных целей для сложных систем самого высокого в масштабах страны стратегического уровня.

Примером масштабных и катастрофических последствий нерационально выбранной высшим руководством страны общей цели явля-



ется развал бывшего СССР. Руководство КПСС в 1960-х годах прошлого века именно в большей мере выбрало, а не обосновало утопическую глобальную цель — построение коммунистического общества. Эта цель противоречила реальным законам развития общества и человека. Никто не скажет, что она не обосновывалась. Конечно, обосновывалась, но только безнадежно устаревшими коммунистическими догмами, а по этой причине — лжекоммунистическими, так как известный деятель писал, что марксизм является наукой и требует к себе отношения как к науке, т.е. непрерывного развития. В советский период успешно развивались отрасли естественных и технических наук, т.е. те науки, которые не зависели от идеологических догм. В ряде этих наук были осуществлены такие прорывы, которые позволяют отдельным отраслям занимать передовые позиции и в настоящее время. Однако социально-гуманитарные науки, призванные обеспечить долгосрочное прогнозирование развития общества, развивались в прокрустовом ложе устаревших идеологических догм и не могли выполнить свои прогностические и программные функции.

Ведь определение глобальной цели для общества и государства в целом представляет собой сложнейшую неструктуризованную проблему, решения по которой должны обосновываться с использованием субъективно-объективированных моделей. При этом варианты возможного будущего состояния общества и государства, как было отмечено в предисловии, призвана выработать идеология. На бытовательском уровне, да и не только на нем, идеология зачастую понимается как средство одурманивания простых людей для достижения своих политических целей определенными кругами, стоящими у власти или рвущимися к ней. Да, история человечества знает немало подобных примеров. Однако надо различать конъюнктурную, лженаучную идеологию от идеологии научной, которая основывается на закономерностях общественного развития. Ведь только научная идеология позволяет спрогнозировать варианты экономических базисов и надстроечных структур будущего общества, из которого можно выбрать рациональный вариант. Она призвана предохранить страны от выбора ложной цели, от катастрофических последствий ее реализации, учитывает общечеловеческие ценности, составляет основу духовности общества.

Автор данной работы привел примеры особенностей определения целей для двух крайних по масштабам и иерархии для общества проблем — выбора спутника жизни при создании семьи и направления развития страны. Это сделано не случайно, так как именно данные проблемы и соответствующие им цели являются главными для человека, общества и государства. Об их связи и

взаимозависимости речь еще будет вестись ниже при рассмотрении второй рекомендации по определению главной цели.

Можно выразить надежду, что приведенные выше примеры убедили читателя в том, насколько важным, ответственным, зачастую весьма сложным в системном анализе является этап определения главной цели. Задача ЛПР и системного аналитика при выполнении этого этапа заключается не только в том, чтобы избежать выделения ложной цели, но и в том, чтобы цель была полностью определенной или с минимально возможной степенью неопределенности. В связи со сложностью определения главной цели разработан ряд рекомендаций, использование которых может помочь ЛПР и аналитикам в выполнении второго этапа системного анализа. Основные из них кратко охарактеризованы ниже.

1. Необходимо учитывать влияние выработанной обществом системы ценностей на выбор цели. Это обусловлено тем, что наиболее сложные проблемы в социально-гуманитарной сфере, познание в которой всегда представляет собой ценностно-смысловое освоение и воспроизведение общественного бытия [37]. Решение проблем в этой сфере также неразрывно связано с ценностями, мировоззренческими и смысловыми компонентами. Специалисты обращают внимание на существование двух противоположных стилей ценностного мышления — «технократического мышления» и «гуманистического мышления» [5]. Кредо (основы мировоззрения) первого из них — «человек — царь природы», второго — «человек — часть природы». Основные составляющие технократической и гуманистической системы ценностей приведены ниже [5].

#### **Технократическая система ценностей**

#### **Гуманистическая система ценностей**

Природа как источник неограниченных ресурсов	Природные ресурсы ограничены
Превосходство над природой	Гармония с природой
Природа враждебна или нейтральна	Природа дружелюбна
Управляемая внешняя среда	Окружающая среда в хрупком равновесии
Информационно-технологическое развитие общества	Социокультурное развитие
Рыночные отношения	Общественные интересы
Риск и выигрыш	Гарантии безопасности
Индивидуальное самообеспечение	Коллективистская организация
Разумность средств	Разумность целей
Информация, запоминание	Знания, понимание
Образование	Культура

В процессе определения целей при анализе сложных проблем в социально-гуманитарной сфере рационально использовать все хорошее, что имеется в технократической системе ценностей. Но при ведущей роли гуманистической системы. Учет системы ценностей во многом определяет конфигуратор, т.е. «языки», на которых будут проводиться последующие этапы системного анализа [5].

2. Необходимо учитывать множественность целей. В этом плане основными являются три аспекта.

Первый аспект заключается в том, что для решения многих сложных проблем главная цель может состоять из нескольких целей. В связи с этим в начале параграфа было отмечено, что для сокращения речь будет вестись о главной цели, подразумевая возможность ее множественности.

Второй аспект состоит в том, что проблемосодержащая система входит в качестве подсистемы в надсистему и сама состоит из подсистем и элементов. На высшем уровне такой иерархии можно выделить метасистему. Иерархической структуре систем соответствует иерархия целей. Общим подходом к определению целей для систем различных уровней является декомпозиция главной цели сложной системы на цели более низких уровней. Отсюда следует, что при определении главной цели при анализе конкретной проблемы для проблемосодержащей системы необходимо учитывать, прежде всего, главную цель надсистемы. Кроме того, отдельную сложную проблему, например, стратегического уровня, как правило, декомпозируют в иерархию частных проблем различных уровней, решение которых обеспечивает решение общей проблемы. Естественно, что иерархическому представлению общей проблемы соответствует иерархия частных целей различных уровней.

В примере определения цели для проблемы выбора спутника жизни было показано влияние целей общества и государства, как более высоких по рангу систем, на определение целей применительно к созданию самой простой их подсистемы — семьи. Аналогичная картина имеет место и для соотношения целей отдельных стран и мирового сообщества. Каждая из стран вправе определять собственный путь развития с учетом своих особенностей, иметь различные типы экономики, свои политическую систему, общественное и государственное устройство и т.п. Однако их главные цели должны определяться в рамках рациональных глобальных целей мирового сообщества.

Вместе с тем, существует и обратное влияние целей нижестоящих по рангу систем на определение главных целей надсистем, которое должно учитываться. Например, в настоящее время на

главные цели мирового сообщества и отдельных стран существенное влияние оказывают интересы и цели людей и их семей. Большинство стран мира сейчас признало приоритет общечеловеческих ценностей. В том числе большую, можно сказать первостепенную значимость интересов и целей человека и его семьи при определении своих главных целей. Это закономерно, так как мировая цивилизация сможет выжить и развиваться, если центральное место в ее глобальных целях будет занимать здоровье и благополучие человека.

Однако история человечества свидетельствует порой об обратном. Например, в отдельные периоды в бывшем Советском Союзе человек рассматривался как своеобразный «винтик» партийно-государственной машины, интересы и жизнь которого всецело подчинялись целям этой машины. Так, не могут не поразить свидетельства участников известных учений с применением атомной бомбы в Тоцких лагерях в связи с 60-й годовщиной со дня их проведения. Они рассказали, что к образцам вооружения и военной техники, расположенных для испытаний на различных расстояниях от эпицентра взрыва, были прикованы люди, погибшие в атомном аду. Предположительно, заключенные, осужденные на смертную казнь.

Третий аспект множественности обусловлен недостаточной их определенностью и необходимостью для сложных проблем альтернативного подхода к их определению с последующим выбором из альтернатив. В работах приводятся некоторые рекомендации по формированию главных альтернатив-целей [5]. Однако следует обратить внимание на то, что стратегическое планирование предусматривает использование на начальном этапе полной системно-аналитической процедуры по сложной частной проблеме, решение которой заключается в обосновании рационального варианта главной цели [10, 38]. Данное обстоятельство позволяет констатировать, что разработка (генерирование) альтернатив-целей подчиняется общим закономерностям генерирования любых альтернатив. Конечно, при наличии своей специфики. Рекомендации по генерированию альтернатив будут рассмотрены в п. 2.6.

3. Нельзя допускать подмены целей средствами их достижения. Это важно, так как подобная подмена происходит нередко. Так, известен пример попытки решения проблемы «где разместить новую больницу» [5]. Ее суть заключалась в том, что на медицинское обслуживание населения были выделены бюджетные средства. Единственным способом их использования для улучшения медицинского обслуживания априори считали строительство

новой больницы. Отсюда вытекла приведенная выше формулировка проблемы. В качестве главной цели был определен выбор места строительства новой больницы, а альтернатив — места ее строительства.

При углубленном изучении проблемной ситуации было установлено, что существующих больниц вполне достаточно. Действительная проблема состояла в невысоком уровне медицинского обслуживания населения, а цель — в повышении его до необходимого или приемлемого уровня. Альтернативными средствами были строительство новой больницы (оно оказалось не самым предпочтительным), проведение профилактических мероприятий, повышение квалификации и качества работы медицинского персонала, приобретение нового медицинского оборудования, улучшение обеспеченности лечебных учреждений медикаментами и др. В соответствии с этим была сформулирована настоящая проблема, правильно определена цель и выбран рациональный вариант использования выделенных бюджетных средств.

4. При определении целей следует избегать их смешения. Чаще всего это явление имеет место, когда специалисты, имеющие высокую профессиональную подготовку в одной сравнительно ограниченной сфере, навязывают всем остальным при решении проблем свое видение фрагментов действительности и подменяют истинные цели своими. Смешение целей может быть явным и неявным.

П. Риветт привел пример явного смешения целей в связи со строительством очень элегантного здания в городке университета графства Сассек [5]. Это здание в 1965 г. получило золотую медаль Королевского Общества Архитекторов. И если бы целью строительства было создание архитектурного шедевра, то все было бы нормально. Однако здание было предназначено для учебных и административных целей, но именно для этих целей его внутренняя планировка была непригодна.

Пример неявного смешения целей приведен А. Вольштеттером [5]. «Отцам» города хотелось добиться одновременно двух целей: уменьшить число нарушений правил дорожного движения и наказывать штрафами для пополнения казны как можно большее количество нарушителей. Эти цели достигались двумя хорошо известными способами — полицейской засадой или открытым патрулированием улиц. Засады позволяют поймать большее количество нарушителей, но мало снижают число нарушений. Патрулирование снижает число нарушений и, следовательно, количество пойманных нарушителей.

Явное и неявное смешение целей происходит по причине сложности правильного их определения, наличия различных точек зрения

и навязывания их другим, стремления достичь одновременно нескольких, не согласующихся между собой целей и т.д. Основная их особенность — отсутствие, как правило, злого умысла, непреднамеренность. Для человеческой деятельности, особенно в сфере большой политики, еще характерна преднамеренная подмена целей. Ярким примером такой подмены являются решения ряда международных проблем администрацией США и их близких союзников. Например, в отношении Югославии и Ирака. При этом выдвигаются внешне благородные цели — обеспечение прав человека и демократическое развитие обеих стран, а по отношению к Ираку — и ликвидация угрозы применения оружия массового поражения. Но для здравомыслящего человека ясна сознательная подмена целей. В отношении Югославии — устранения на Балканах режима, не в полной мере контролируемого США и НАТО, так как до сих пор не найдены доказательства этнических чисток сербов по отношению к албанцам. А в отношении Ирака — установление США своего контроля над гигантскими нефтяными запасами этой страны и региона, так как в результате агрессии нарушений прав человека стало неизмеримо больше, ведь то, что у Ирака нет оружия массового поражения, организаторам агрессии было хорошо известно до ее развязывания.

5. При проведении системно-аналитических процедур должна учитываться возможность изменения целей с течением времени. При этом необходимо отметить два аспекта такого изменения.

Во-первых, в п. 2.1 системный анализ характеризовался как сложная итеративная процедура, которая могла повторяться не один раз в полном формате или начиная с любого промежуточного этапа, в том числе со второго — определения или уточнения главной цели.

Во-вторых, главные цели могут изменяться в виду динамики решаемых проблем. Стратегические цели изменяются сравнительно медленно. Гораздо более высокая динамика присуща целям более низких уровней, особенно тактических.

В заключение параграфа следует еще раз подчеркнуть, что определение главной цели является необходимым и важным неформальным этапом системного анализа при обосновании решений по всем типам сложных проблем. После этого этапа процедуры системного анализа для хорошо структурированных, слабо структурированных и неструктурированных проблем существенно отличаются друг от друга. Ниже будет рассмотрен вариант системного анализа для хорошо структурированных проблем и кратко охарактеризованы сходство и отличия системного анализа и операционного исследования. Это необходимо для их разграниче-

ния и сосредоточения основного внимания на системно-аналитических процедурах.

#### **2.4. Основные этапы подготовки и обоснования решений по хорошо структурированным проблемам**

После определения главной цели для обоснования решения по хорошо структурированной проблеме используются, как было отмечено в п. 2.2, методы исследования операций. Специалисты по исследованию операций рассматривают процесс операционного исследования как самостоятельный системный процесс подготовки и обоснования решений, включая в него неформальные процедуры, свойственные системному анализу. При этом трактовка составляющих этого процесса различными специалистами может иметь свои незначительные нюансы.

Например, один из известных зарубежных специалистов Х. Таха в процесс операционного исследования включил следующие пять этапов [27]:

- ✓ идентификацию проблемы (формулировка цели исследований, выявление возможных альтернатив решения применительно к исследуемой проблемной ситуации, определение присущих исследуемой системе требований, условий и ограничений);

- ✓ построение модели (в зависимости от особенностей проблемы на основе методов исследования операций создается ее статическая математическая модель или динамическая, как правило, имитационная модель операции сложной системы; в некоторых случаях может потребоваться совместное использование математических, имитационных и других моделей);

- ✓ решение поставленной задачи с помощью модели;

- ✓ проверку адекватности модели (модель считается адекватной, если она с достаточной надежностью отображает исследуемую проблему или поведение системы-оригинала; в отдельных случаях, если система-оригинал исследуется с помощью аналитической модели, возможна параллельная разработка имитационной модели для получения данных, которые используются для проверки основной аналитической модели);

- ✓ реализацию результатов исследования (выполняется в тесном контакте группы исследователей с ЛПР, его помощниками и представителями).

Специалисты-математики выделяют в операционном исследовании шесть этапов [39]:

- ✓ формулировку проблемы;

- ✓ выбор модели;
- ✓ нахождение решения с помощью модели;
- ✓ тестирование решения;
- ✓ организацию контроля;
- ✓ создание режима благоприятствования для реализации принятого решения.

Можно привести и другие варианты этапов операционного исследования, но в этом большого смысла нет, так как они имеют много общего с приведенными выше вариантами.

С учетом этих вариантов содержания операционного исследования можно считать, что процесс подготовки и обоснования решений по хорошо структурированным проблемам применительно к первому и второму направлениям системного анализа имеет много общего и включает следующие основные этапы:

- 1) выделение, формулирование, изучение и определение типа проблемы как хорошо структурированной;
- 2) определение главной цели, достижение которой обеспечивает решение проблемы;
- 3) создание или выбор объективной модели;
- 4) определение оптимальной альтернативы решения проблемы на основе объективной модели;
- 5) принятие решения ЛПР.

Третий и четвертый этап подготовки и обоснования решения выполняется аналитиками, являющимися специалистами по исследованию операций.

Выбор или создание модели предполагает проверку ее адекватности.

Применение объективной модели позволяет определить оптимальную альтернативу. Во всяком случае, с точки зрения ограничений и допущений использованных методов исследования операций.

Найденная с помощью модели альтернатива докладывается ЛПР и изучается им. Учитывая, что с помощью методов исследования операций находятся, как правило, объективно оптимальные альтернативы, то ЛПР нет иного варианта, кроме как принять предложенное решение. Однако оно должно убедиться в том, что правильно установлен тип проблемы, не допущена ошибка при определении цели, выбрана или создана адекватная модель, отсутствует произвол в ограничениях и допущениях. При этом ЛПР может воспользоваться услугами экспертов и аналитиков. Кроме того, исследование операций иногда позволяет определять альтернативы, оптимальные с точки зрения ограничений и допущений применяемых методов. Такие оптимальные альтернативы не всегда можно реализовать напрямую. Об этом пойдет речь в пя-



той и шестой главах при рассмотрении основных положений теории принятия решений.

В рассмотренных выше вариантах содержания операционного исследования включены этапы, связанные с тестированием и реализацией решения и организацией контроля. Тестирование решений при применении методов исследования операций часто возможно. В приведенном выше варианте содержания операционного исследования тестирование включено в четвертый этап — определение оптимальной альтернативы решения проблемы на основе объективной модели. В данной работе, как отмечалось в п. 2.1, считается, что реализация решения и организация контроля выходят за рамки основных, определяющих процедур подготовки и обоснования решений. Они могут являться важными относительно самостоятельными компонентами и этапами управленческой деятельности. Вместе с тем, реализация решений и организация контроля весьма важны, и специалисты имеют право включать в операционное исследование с учетом специфики конкретно решаемых проблем не только эти, но и другие этапы. Здесь главное одно — получение оптимального или близкого к нему решения проблемы.

Следовательно, для хорошо структурированных проблем первый этап обоснования решения (выявление, формулирование, изучение и определение типа проблемы) выполняется ЛПР и помогающими ему экспертами и исследователями-аналитиками на основе системного подхода и применения эвристических методов. На данном этапе, как было отмечено в п. 2.1, в работе ЛПР и его помощников научные подходы сочетаются с искусством. Не используются методы исследования операций и при определении главной цели на втором этапе системного анализа. Они начинают «работать» после того, как определена цель. Это положение принципиально, ибо определение цели является творческим, не формализуемым процессом. Причем важным процессом, так как неправильно выбранная цель, как было показано в предыдущем параграфе, заведомо обрекает процесс обоснования решения на неудачу. Завершается процедура подготовки и обоснования для хорошо структурированных проблем принятием решения ЛПР на основе его варианта, найденного с помощью объективной модели. Его не всегда можно использовать непосредственно.

Наличие в операционном исследовании неформальных первого и второго этапов, а также завершение обоснования принятием решения ЛПР обуславливают то обстоятельство, что решения, даже по хорошо структурированным проблемам, всегда посят

субъективный характер, хотя в процессах обоснования используются их объективные модели.

В заключение вполне логичным выглядит вывод о том, что этапы операционного исследования и системного анализа при подготовке и обосновании оптимальных решений по хорошо структурированным проблемам практически совпадают. Иными словами, операционное исследование — это системный анализ применительно к подготовке и обоснованию решений по хорошо структурированным проблемам. Для таких проблем и первые два неформальные этапы анализа менее сложны, чем для слабоструктурированных и неструктурированных проблем.

Данное обстоятельство дает основания для различения терминов «операционное исследование» и «исследование операций», являющихся синонимами, и термина «методы исследования операций». Первые два из них означают системный анализ для хорошо структурированных проблем, включающий и неформальные этапы, а третий — конкретные формальные методы, применяющиеся после выполнения неформальных этапов операционного исследования.

По исследованию операций имеется много трудов, его методы многочисленны, разнообразны и специфичны. В п. 2.1 отмечалось, что операционные исследования были разработаны и начали широко применяться примерно с середины 40-х годов прошлого века, т.е. раньше системного анализа. Несмотря на тесную связь с системным анализом, они традиционно выделяются как специфическая прикладная дисциплина. В этой связи системный анализ принято рассматривать в узком смысле как совокупность методологических средств подготовки и обоснования решений по слабоструктурированным и неструктурированным проблемам, которые более сложны, гораздо хуже определены и значительно многочисленнее, чем проблемы хорошо структурированные.

## **2.5. Иерархическое представление проблемных ситуаций**

В п. 2.1 было отмечено, что основным способом начального этапа анализа сложных проблемных ситуаций является их декомпозиция на более простые, доступные для изучения компоненты. Декомпозиция сложных проблем на компоненты осуществляется ввиду объективных обстоятельств. Они состоят в том, что сложные проблемы невозможно изучать непосредственно в целом. Поэтому требуется расчленение их на взаимозависимые и взаимосвязанные компоненты, которые с достаточной степенью адек-

ватности составляют модель проблемы. Степень детализации структуры проблемы должна быть таковой, чтобы можно было исследовать ее компонентный состав, связи и отношения между компонентами, средой и ресурсами, целью и альтернативами.

Особую значимость в системном анализе имеет иерархическое представление проблемных ситуаций. Это обусловлено, прежде всего, особой важностью одной из центральных идей системной философии — иерархизации, которая отмечена в первой главе и обладает в рамках системных исследований свойством всеобщности. Из нее следует, что проблемные ситуации можно представлять в виде иерархических структур. Иерархическая структура проблемной ситуации может быть представлена в различных формах [3, 5]: графической, матричной, теоретико-множественной, с помощью языка типологии и др. Из них наиболее часто в системном анализе используется графическая форма, которая и будет использована в данной работе. В настоящее время основными видами иерархического графического представления проблемных ситуаций являются [3, 5, 38]:

1) древовидные иерархии, прежде всего, «деревья» целей или «деревья» решений;

2) иерархии, включающие уровни («страты», «слои», «эшелоны») компонентов проблемных ситуаций; из них наиболее распространенными являются доминантные иерархии [10].

Ниже будет дана краткая характеристика этих иерархических структур.

### **2.5.1. Характеристика иерархического представления проблемных ситуаций в виде «деревьев» целей**

При использовании этой иерархии проблемная ситуация представляется в виде многоуровневого связанного графа целей, вид которого показан на рис. 2.2 [38]. На вершине графа цель высшего ранга (нулевого) — главная (глобальная, генеральная) цель  $X^0$ , достижение которой обеспечивает решение проблемы. На промежуточных уровнях (стратах) находятся цели более низких рангов — частные цели. Главная цель и все частные цели находятся между собой в связях (на рисунке они показаны дугами или ребрами). Каждая из нижестоящих частных целей является средством достижения вышестоящих целей. Множество дуг графа представляет собой отношения условий достижения целей верхнего уровня — условием И. Это означает, что любая цель верхнего уровня достигается только тогда, когда достигаются все связанные с ней частные цели нижнего уровня.

Такое иерархическое представление проблемных ситуаций еще называется «деревом» решений. Это обусловлено тем, что для организаций-систем каждая частная цель достигается ее подсистемой на основе реализации частного решения, принимаемого органом управления подсистемы. Деятельность одного человека по достижению какой-либо цели (решению проблемы), как правило, также включает последовательное достижение нескольких частных целей на основе принимаемых частных решений.

Следовательно, «деревья» целей используются при обосновании решений по проблемам как стратегического, так и тактического уровней. Конечно, обоснование решений по проблемам стратегического уровня гораздо сложнее и ответственней.

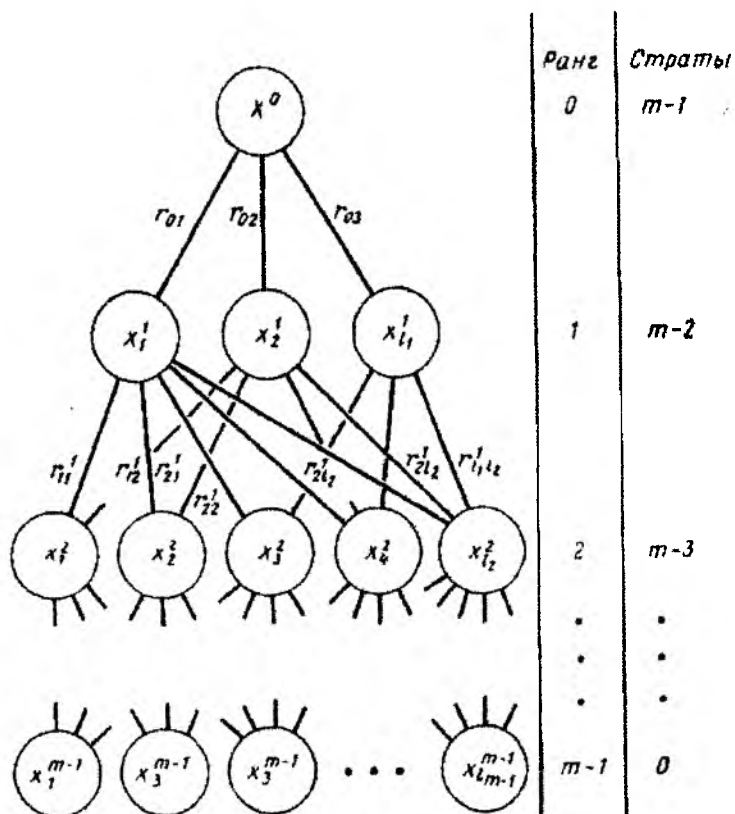


Рис. 2.2. Представление проблемной ситуации в виде «дерева» целей

Для проведения стратегической операции формируется очень сложное «дерево» целей, т.е. принимается целый комплекс решений. Обоснование такого комплекса решений называется планированием. В процедуре стратегического планирования, осуществляющегося, как правило, программно-целевым методом, системный анализ, как уже отмечалось в п. 2.2, используется для решения двух взаимосвязанных задач:

- 1) обоснования главной цели;
- 2) обоснование способов достижения главной цели — частных целей как средств ее достижения, получаемых декомпозицией главной цели в «дерево» целей.

Обоснование главной цели основывается на прогнозировании, разработке альтернативных сценариев — возможных ситуаций будущего на некотором интервале времени — и выборе наиболее вероятного сценария [5, 38]. Несколько подробнее о сценариях-альтернативах речь будет вестись в п. 2.7. Декомпозиция главной цели заключается в рассмотрении альтернативных вариантов «дерева» целей, построенных с логикой И/ИЛИ, и последующем выборе лучшего из них с логикой И [38].

Формирование и анализ «дерева» целей является основным методическим средством в первой американской методике системного анализа ПАТТЕРН [38].

Вопросы стратегического планирования сложны, специфичны, требуют специального изложения и выходят за рамки системного анализа, хотя, как показано выше, системно-аналитические процедуры являются основным методическим средством в планировании. В данной работе рассматривается системный анализ применительно к обоснованию решений по отдельным проблемам. В их числе могут быть частные проблемы по определению частных целей в «дерево» целей, полученного декомпозицией главной цели стратегического уровня.

### **2.5.2. Характеристика иерархического представления проблемных ситуаций в виде уровней их компонентов**

Существуют различные виды иерархического представления проблемных ситуаций. О них кратко речь будет идти в 9-й главе. Основным видом иерархий, широко применяемых в системно-аналитических процедурах, являются доминантные иерархии. Они предусматривают представление проблемных ситуаций в виде перевернутого дерева с главной целью наверху и нижележащих уровней компонентов. Именно доминантные иерархии проблемных ситуаций будут рассматриваться в данной работе.

При рассмотрении этапов операционного исследования для хорошо структуризованных проблем их иерархическое представление в виде уровней компонентов, как правило, не рассматривается. В этом просто нет нужды из-за его простоты, так как иерархическое представление таких проблем включает три компонента: «цель — критерий — альтернативы». Связи между компонентами отражаются объективной моделью.

Слабоструктуризованные проблемные ситуации также декомпозируются в иерархию из трех уровней: «главная цель — критерии — альтернативы». Очень важно, что промежуточный уровень представляет собой, как отмечалось в п. 2.2, вектор частных критериев. Это означает, что частные критерии находятся между собой в связях и отношениях «согласования» или «равноценности», т.е. их важности соизмеримы между собой. Критерий в такой иерархии понимается в общенаучном смысле, т.е. как средство для суждения о привлекательности альтернатив. Критериев должно быть столько, чтобы они обеспечили корректную связь альтернатив с целью. Их выбор является неформальным и не всегда простым делом. Каждый из частных критериев векторного критерия характеризуется частным количественным показателем. В этой связи критерии и показатели часто отождествляются — критериями называются частные показатели привлекательности альтернатив [25]. Для сравнения альтернатив по критериям и выбора лучшей из них используется специально разрабатываемое решающее правило. В иерархическом представлении слабоструктуризованной проблемы связи между целью, критериями и альтернативами также отражаются моделью.

Гораздо сложнее слабоструктуризованных проблем являются проблемы неструктуризованные. В соответствии с этим значительно сложнее и их иерархическое представление. Вариант иерархического представления сложной неструктуризованной проблемой ситуации приведен на рис. 2.3 и в общем случае включает три компонента [10]:

- ✓ 1-й — главная цель;
- ✓ 2-й — промежуточные уровни;
- ✓ 3-й — альтернативные пути или способы достижения главной цели.

На первом уровне (в фокусе) декомпозированной проблемы находится главная цель. Общие положения по ее определению рассмотрены в п. 2.3.

На самом нижнем уровне иерархии находятся варианты (альтернативы) решения проблемы. При решении проблем оценки качества это могут быть варианты оцениваемой сложной системы,

образцы какого-либо изделия, отличающиеся друг от друга интенсивностью свойств. При решении других проблем вариантами являются альтернативные пути и способы действий, отличающиеся друг от друга целевыми результатами, характеризующими степень достижения цели, затратами ресурсов и времени и т.д.

Промежуточные уровни иерархии могут состоять из уровней частных критериев, акторов, способов действий акторов (их политик), частных целей, ограничений и др. Элементы, находящиеся на этих уровнях, по своей сути представляют существенные свойства объектов или факторы, которые влияют на сравнение и выбор лучших или пригодных альтернатив. Частные цели являются локальными целями, достижение которых обеспечивает достижение целей более высокого уровня.

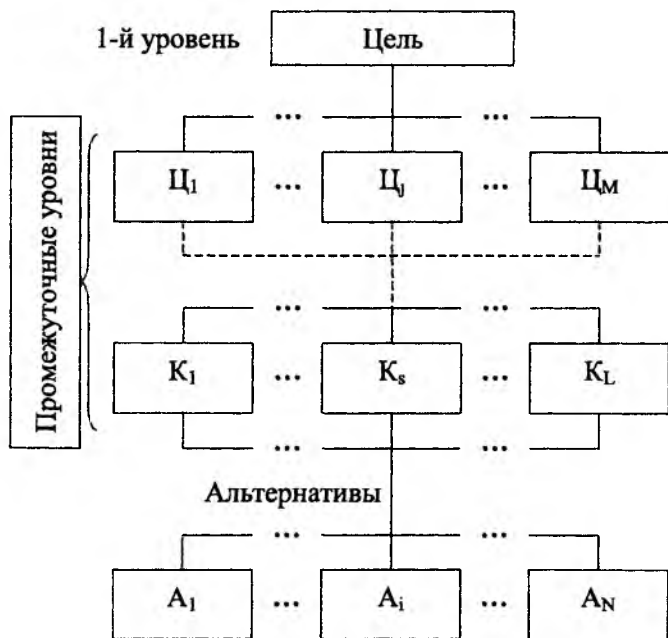


Рис. 2.3. Декомпозиция сложной неструктурированной проблемной ситуации в доминантную иерархию

Составляющие каждого нижестоящего промежуточного уровня подчинены вышестоящему уровню иерархии, находятся в связях с составляющими вышестоящего уровня и имеют определенные степени влияния на эти составляющие. Каждый элемент вышестоящего уровня является, как правило, критерием для всех

элементов нижестоящего уровня. Из этого следует, что для неструктуризованных проблем понятие критерия имеет общенаучную трактовку: под критериями понимают именно свойства объектов или факторы как средства для выработки суждений. Кроме того, есть основания утверждать, что промежуточные уровни в иерархии в целом представляют собой сложный иерархический критерий, связывающий альтернативы с целью.

В предыдущем пункте было отмечено, что в процессе планирования системный анализ используется для решения двух проблем — определения главной цели и способов ее достижения. Для решения этих проблем могут использоваться соответственно два типа доминантных иерархий: иерархия прямого процесса и иерархия обратного процесса [10]. В общем случае критерий для обоих типов иерархий является сложным иерархическим. Рекомендации по выбору частных критериев и формированию из них иерархического критерия будут рассмотрены ниже.

Следовательно, если иерархия хорошо структуризованной проблемной ситуации содержит на промежуточном уровне один компонент, то иерархия слабоструктуризованной включает один промежуточный уровень с несколькими элементами, а неструктуризованной — может содержать несколько промежуточных уровней. При этом для слабо структуризованных и неструктуризованных проблем под критериями понимаются существенные свойства и факторы, используемые для выработки суждений о привлекательности альтернатив, так как решающее правило для выделения лучших вариантов для каждой проблемы разрабатывается одно.

Декомпозиция проблемы в иерархию является наиболее сложным и ответственным, центральным этапом анализа. В ее результате ведь формируется основа концептуальной модели решения проблемы. Если основа модели построена неверно, то дальнейшие исследования теряют смысл: правильное решение проблемы определено не будет. Как было отмечено выше, промежуточных уровней в декомпозиции может быть от одного до нескольких: все зависит от сложности и особенностей конкретной проблемы и путей и способов ее решения. Существует только одно универсальное требование к промежуточным уровням: их число, количество и содержание составляющих на каждом уровне, отношения и связи между составляющими должны обеспечить корректную связь альтернатив с главной целью.

Построить корректное иерархическое представление неструктуризованной проблемы непросто. В решения этой задачи привлекаются, как правило, группы экспертов. Работа экспертов органи-



зается таким образом, чтобы, прежде всего, в максимально возможной мере исключить «минусы», присущие экспертизам (зависимость и заинтересованность экспертов, влияние научных авторитетов и старших по служебному положению и др.). Вариантов организации работы экспертов может быть несколько, но, обычно, ее суть сводится либо к открытым дискуссиям, либо к сочетанию периодов анонимной работы экспертов при наличии обратной связи, позволяющей экспертам изучать обезличенные мнения коллег по экспертизе, с открытыми дискуссиями. При этом иерархическая модель решения проблемы подвергается логическому анализу на корректность (непротиворечивость, полноту, избыточность). В результате нескольких циклов такой работы эксперты должны прийти к консенсусу (соглашению) по структуре рациональной модели решения проблемы. Если консенсус экспертами не достигнут, то это означает, что или проблема в настоящее время не может быть решена, или группа экспертов недостаточно компетентна, и надо формировать новую группу. Различные варианты организации работы экспертов реализуются в конкретных логико-эвристических методах, некоторые из которых будут рассмотрены или охарактеризованы в последующих главах работы.

После того, как проблемная ситуация декомпозирована на компоненты, используются методы теории принятия решений при многих критериях. При этом ЛПР и специалистами уже определена главная цель, сформированы критерии и альтернативы. Фактически методами теории принятия решений необходимо осуществить выбор лучших альтернатив из числа разработанных. Для этого формируется решающее правило с учетом информации о предпочтениях ЛПР. Следовательно, если при декомпозиции проблемной ситуации допущена ошибка, то при самом хорошо обоснованном решающем правиле получить доброкачественное решение невозможно.

Следовательно, при иерархическом представлении слабоструктуризованных и несгруппированных проблемных ситуаций первостепенную значимость имеет правильное формирование векторного или сложного иерархического критерия и разработка (генерирование) допустимых альтернатив. В этой связи вопросы обоснования критериев и генерирования альтернатив будут рассмотрены ниже.

## 2.6. Выбор и формирование критериев

Особая методологическая значимость в системном анализе, исследовании операций и теории принятия решений термина «критерий» обуславливает необходимость некоторых дополнительных пояснений. Они относятся к трактовкам понятия «критерий», его сущности, а также рекомендаций по выбору и формированию критериев.

Дело в том, что понятие критерия в науках, как уже отмечалось в п. 2.2, используется в двух различных трактовках. Общенаучная трактовка понятия критерия соответствует его энциклопедическому определению, т.е. критерием является любое средство для суждения, мерило оценки. В качестве такого средства могут использоваться любые какие-либо существенные свойства или факторы, выбранные, например, для оценки альтернатив. При этом если оценка альтернатив и принятие решения осуществляется по одному свойству или фактору, то такая оценка называется однокритериальной (по одному критерию), а если по нескольким свойствам или факторам — многокритериальной (по многим критериям). Интенсивность проявления свойства или фактора характеризуется показателем. Поэтому критерий, как средство, выбранное как мерило оценки, также характеризуется показателем.

Для хорошо структуризованных проблем, анализируемых с использованием методов исследования операций, свойство объекта или фактор, выбранное в качестве единственного критерия, характеризуется, как правило, одним количественным показателем, цель и альтернативы формализованы, сформирована целевая функция, имеется метод или несколько методов нахождения оптимального (наилучшего) значения показателя и, следовательно, оптимальной альтернативы. При этом под критерием понимается и выбранное для оценки и принятия решения свойство объекта, и показатель, и его граничное (требуемое) значение, и направление предпочтений ЛПР, и способ сравнения текущего значения показателя с граничным значением для выбора вариантов решения. В этой связи целевая функция может называться и критерием качества, и функцией предпочтения, и функцией полезности и др. [5].

Более того, учитывая единственность выбранного фактора или свойства, основной смысл понятия критерия может сосредотачиваться на способе сравнения и выделения оптимальных альтернатив. Наименования самих критериев в какой-то мере абстрагируются от конкретных свойств объектов или факторов и связываются с процедурами — решающими правилами, по кото-

рым с использованием объективной модели сравниваются и выделяются альтернативы. Так, если предпочтения ЛПР состоят в необходимости выделить пригодные альтернативы, то ведут речь о применении критерия пригодности, т.е. альтернативы отбираются на основе сравнения показателей с граничными значениями. Если же выделяются оптимальные альтернативы, то говорят о применении критерия оптимальности. Критерии в такой трактовке в различных отраслях науки имеют зачастую индивидуальные наименования. Например, в теории статистических решений широко известны критерии оптимальности Байеса, максимальной вероятности, модальный, Джейнса, Гурвица, Ходжеса-Лемана, Менчеса и др. [40]. В начале п. 2.1 были указаны пять основных этапов системного анализа и операционного исследования, выделенные Э. Квейдом. В наименовании пятого этапа речь идет о критерии именно как средстве выбора предпочтительной альтернативы — решающем правиле. Это справедливо только для операционного исследования.

Подобное понимание критерия характерно для многих точных наук, в которых оценка и оптимизация ведется по одному количественному показателю. В силу устойчивости научных традиций надо понимать, признавать и учитывать этот вариант трактовки критерия. Однако только не в рамках системного анализа, «работающего» со слабоструктуризованными и неструктуризованными проблемами. В системном анализе, как уже не раз отмечалось в главе, используется общенаучная трактовка критерия: под ним понимается существенные свойства или факторы, которые используются для суждения об альтернативах, для оценки их качества с учетом влияния внешней среды и ограничений на ресурсы. Альтернативы характеризуются количественным или качественным показателем по каждому критерию — оценками по критериям или критериальными оценками с точки зрения их пригодности в качестве средства достижения цели. В этой связи следует различать и стараться не отождествлять критерии, являющиеся общим средством для суждения обо всех альтернативах, и конкретные показатели привлекательности по ним различных альтернатив. И тем более нельзя отождествлять критерии с каким-либо способом сравнения альтернатив, так как для такого сравнения разрабатываются с использованием методов теории принятия решений при многих критериях специальные решающие правила.

Следовательно, критерии представляют собой средства (перечень основных свойств и факторов и связи между ними) для суждения о привлекательности альтернатив, а оценки по критерию

ям, частные показатели — мерилami их пригодности в качестве средств достижения цели по отдельным критериям.

Это означает, что критерии тесно связаны с целью. В принципе необходимо их максимальное приближение к цели. Однако это условие выполнить весьма трудно. Одной из причин являются сложность цели, а большой степени сходства со сложностью достичь удастся редко. Кроме того, цель фиксируется в номинальной (качественной) шкале, а критерии могут фиксироваться в порядковой и метрической шкалах, являющихся более совершенными. В связи с этим в работах утверждается, что критерии представляют собой аппроксимацию цели, ее подобие, модель [5]. Правомерность этих утверждений сомнений не вызывает. Вместе с тем, опыт применения системного анализа показывает, что критерии должны учитывать в общем случае не только свойства цели, но и существенные факторы внешней среды и ограничений, существенно влияющие на достижение цели и, следовательно, на привлекательность альтернатив. Это касается в первую очередь сложных неструктуризованных проблем, при анализе которых нельзя использовать для определения количественных показателей объективные модели. Пример выбора критериев при анализе такой проблемы будет приведен в 9-й главе.

Учитывая сложность неформальной процедуры выбора и формирования критериев, выработаны эвристические рекомендации, которые призваны облегчить ее выполнение. Некоторые из них будут рассмотрены ниже.

1. При выборе критериев должно учитываться такое требование к ним как полнота охвата свойств цели и факторов внешней среды и ограничений на ресурсы. В противном случае перечень частных показателей привлекательности альтернатив не будет полным и не позволит адекватно их охарактеризовать. Свойств и факторов при обосновании решений по сложным проблемам можно выделить очень много. Соответственно, полное их описание требует выбора соответствующего множества частных критериев.

2. Разработка решающего правила для сравнения альтернатив при очень большом количестве критериев затруднительна. Отсюда вытекает второе требование к выбору критериев, которое противоречит первому: при выборе частных критериев необходимо стремиться к минимизации их числа [5]. Его выполнение достигается нахождением разумного компромисса между полнотой описания свойств цели и факторов внешней среды и ограничений на ресурсы и количеством частных критериев. При этом говорят о достаточной полноте описания, когда в нем учтены основные свойства и факто-

ры, и приемлемом количестве частных критериев, при котором можно разработать корректное решающее правило.

3. Важным подспорьем при выборе и формировании критериев являются ряд методологических положений квалиметрии и теории эффективности, которые будут рассмотрены соответственно в третьей и четвертой главах. В квалиметрии это, прежде всего, положения о качестве и свойствах объектов, в том числе о структуре качества. Ведь очень часто, как было отмечено в параграфе выше, в качестве критериев выбираются именно существенные свойства целей. В теории эффективности с точки зрения выбора критериев значительный интерес представляют положения о векторе параметров целеполагания и показателе эффективности операций сложных систем. В первую очередь это относится к общей структуре параметров целеполагания и показателя, которая должна охватывать необходимые три группы частных критериев, характеризующих соответственно целевой результат, затраты ресурсов и времени.

4. В п. 2.3 было отмечено, что системный анализ нередко применяется для обоснования решений по проблемам, которые соответствуют частным целям в «дереве» целей, которое построено декомпозицией главной цели стратегического уровня, т.е. частным проблемам. Разрешение частной проблемы означает достижение частной цели в интересах достижения цели более высокого уровня. Это означает наличие связи данной частной цели с целью более высокого уровня, а, следовательно, и связи критериев анализируемого и более высокого уровней. Отсюда следует, что при выборе критериев необходимо изучить критерии более высокого уровня, выявить и учесть связи с ними «своих» критериев.

5. Критерии должны быть содержательными, измеряться в порядковой или метрической шкале, иметь явный смысл. Нельзя допускать дублирования критериев и измерения разных критериев в одинаковых единицах или величинах. При выборе следует избегать критериев, которые являются зависимыми по предпочтению (об этом речь будет вестись в 7-й главе).

6. Необходимо использовать опыт выбора и формирования критериев при анализе сложных проблем по родственной проблематике. Несмотря на уникальность слабоструктуризованных и неструктуризованных проблем некоторая часть критериев для родственных проблем может совпадать. Например, известно мнение Э. Квейда, что наиболее часто в анализе сложных технических систем встречаются следующие критерии [5]: финансовые (прибыль, стоимость и т.д.); объемные (количество продукта); технические качества (эффективность функционирования, надеж-

пость и т.д.); живучесть (совместимость с другими системами, гибкость или приспособляемость, стойкость против морального старения, безопасность и т.д.) и др.

Критерии при анализе образцов вооружения и военной техники связываются с их основными свойствами [11]: боевой эффективностью, стойкостью, живучестью, мобильностью, маневренностью, маскируемостью, скрытностью, транспортабельностью, надежностью, безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью, безопасностью при эксплуатации, универсальностью, совместимостью с сопрягаемыми системами, обитаемостью, эргономичностью.

7. В работах имеются общие рекомендации по выбору частных критериев и формированию сложного иерархического критерия для доминантных иерархий прямого и обратного процессов, использующихся в процедурах планирования [10]. Эти рекомендации будут изложены в гл. 9 при характеристике метода анализа иерархий.

В заключение следует подчеркнуть, что универсальных рекомендаций по выбору и формированию критериев нет. Это обусловливается уникальностью большинства слабоструктуризованных и неструктуризованных проблем. Данное обстоятельство обуславливает необходимость глубокого и всестороннего изучения особенностей каждой сложной проблемной ситуации при ее анализе. Только на этой основе можно выбрать и сформировать критерии, описывающие главную цель с приемлемой достаточностью. При этом специалисты с оптимизмом оценивают возможности экспертов по выполнению этого непростого этапа системного анализа. А неизбежное некоторое расхождение между критериями и целями смягчают пословицей [26]: «Можно много пройти в башмаках, которые немного жмут».

## **2.7. Рекомендации по разработке альтернатив**

Весьма важным неформальным этапом системного анализа является разработка, генерирование альтернатив. Это обуславливается тем, что на шестом этапе анализа используются для выбора из сформированных альтернатив методы теории принятия решений по многим критериям, которая «работает» с множеством представленных вариантов. И если в данном множестве отсутствуют лучшие альтернативы, то они не будут выделены, обоснованное решение по проблеме окажется далеким от лучшего. Многие специалисты считают, что формирование множества альтернатив

является творческим и одним из трудных этапов системного анализа [5]. Например, А. Холл отмечал: «Стадия поиска идей представляет собой кульминационную точку решения задачи, ведь без идей нечего анализировать и выбирать» [цит. по: 5, с. 326]. В связи с этим теоретики и методологи выработали ряд рекомендаций эвристического характера, которые являются обобщением их знаний и опыта, призваны помочь в выполнении данного непростого этапа системного анализа. Основные из них будут кратко охарактеризованы ниже.

1. В принципе, существует некоторое полное множество альтернатив, в котором содержатся все возможные альтернативы, в том числе и лучшие. Такое множество принято называть исходным или универсальным множеством альтернатив [11, 41]. Конечно, универсальное множество является абстракцией, так как для сложных проблемных ситуаций его сформировать нельзя из-за большой мощности этого множества. Однако понятие универсального множества ценно в том плане, что оно содержит в себе все лучшие альтернативы. Поэтому вполне рациональной, с точки зрения минимизации риска упустить даже отдельные лучшие альтернативы, видится установка на генерацию как можно большего количества альтернатив. Для этого могут использоваться различные способы. К основным из них относятся [5]: поиск альтернатив в патентной и специальной литературе; использование группы экспертов, имеющих разностороннюю подготовку и опыт; увеличение числа альтернатив за счет их комбинирования; модификация (частичное отличие) альтернатив; интервьюирование и анкетные опросы специалистов; включение во множество даже тех альтернатив, которые кажутся надуманными и нереальными и др.

2. «Работать» с большим количеством альтернатив сложно, так как требуемые затраты времени и других ресурсов могут оказаться неприемлемыми. Поэтому амбивалентной, противоречащей изложенной выше является рекомендация по поиску способов сокращения числа альтернатив без потери лучших из них. Одним из таких способов является грубое «отсеивание» заведомо непригодных или неприемлемых альтернатив на основе качественной оценки. Обычно отсеиваются альтернативы, которые заметно уступают другим по каким-либо важным показателям, наименее устойчивы к воздействию существенных факторов, менее надежны и адаптивны, сложны в реализации и т.д. [5].

Если после грубого «отсеивания» альтернатив осталось много, то хорошие результаты дает их грубое ранжирование по качеству.

Специалисты по системному анализу считают, что неплохие результаты по генерированию и сокращению числа альтернатив дает

работа группы экспертов, которой руководит системный аналитик [10]. Такой подход обеспечивает формирование множества так называемых допустимых альтернатив. Эти альтернативы являются рациональными и, с точки зрения достижения цели, реализуемыми. Число их небольшое, среди них должны быть лучшие альтернативы. Для выбора из допустимых альтернатив используются методы теории принятия решений при многих критериях.

3. Неплохо зарекомендовало себя для генерирования альтернатив использование таких методов, как «мозговой штурм», морфологический анализ, деловые игры, разработка сценариев и др. [5].

«Мозговой штурм» предусматривает коллективную работу группы экспертов по выдвижению идей. При этом они поочередно выдвигают свои идеи. Ни одна идея не отвергается, не подвергается критике, фиксируется. Общий итог работы группы значительно превосходит суммарный итог генерирования альтернатив всех экспертов при их работе в одиночку. Это обуславливается повышением творческих способностей экспертов, так как выслушивание чужих идей наводит на что-то новое. Результаты «мозгового штурма» обобщаются, как правило, другой группой экспертов.

Морфологический анализ, как сравнительно простой и действенный способ генерирования альтернатив, разработал Ф. Цвикки [5]. Он заключается в определении всех переменных, характеризующих, например, проектируемую систему, и перечислении возможных значений всех переменных. Альтернативы генерируются на основе набора сочетаний этих значений.

Деловые игры заключаются в моделировании реальных ситуаций. В его ходе участники игры выполняют функциональные обязанности на должностях, которые они занимают в действительности. Примерами таких игр являются административные игры, военные игры, работа на тренажерах операторов различных технических систем. При использовании для генерирования альтернатив деловых игр в них принимают участие контрольно-арбитражные группы, которые моделируют ситуации, регистрируют ход игры и обобщают ее результаты [5].

По многим проблемам, прежде всего касающихся вопросов управления сложными организационными или организационно-техническими системами, искомое решение должно отразить реальное развитие фрагментов действительности, которым принадлежит проблема, на некотором временном интервале будущего. В связи с этим возникает необходимость прогнозирования будущего течения событий — действий и состояния проблемосодержащей системы с учетом влияния различных факторов, в том числе внутрисистемных и внешней среды. Сложность и многочислен-



ность факторов не позволяет сформировать один прогноз развития событий, обладающего высокой достоверностью. Поэтому приходится разрабатывать альтернативные сценарии возможного развития. Сценарии представляют собой гипотетические варианты описания того, что может произойти в будущем, и основываются на познании и учете закономерностей развития исследуемой системы и внешней среды. Как отмечалось в предыдущем параграфе, сценарии-альтернативы используются при определении главной цели. Выбранному наиболее вероятному сценарию соответствует наиболее правдоподобное развитие событий и, следовательно, обусловленная им главная цель.

На опыте формирования сценариев выработаны эвристические рекомендации. В их число входят следующие рекомендации [5]:

- ✓ целесообразно вначале сформировать самый оптимистический и самый пессимистический сценарии. Они позволяют определить возможный диапазон развития событий и осуществить разработку в таких границах вероятных сценариев;

- ✓ рекомендуется сосредоточить внимание на учете основных факторов и закономерностях, характерных для всего временного промежутка прогнозирования и разработки сценариев. Особо нежелательно детализирование сценариев для ранних стадий развития ситуаций, так как они могут оказаться фрагментарными, ненадежными и непрактичными из-за своей частности, но значительно повлияют на общий прогноз;

- ✓ при разработке сценариев составление и учет как можно более полного перечня факторов, влияющих на ход событий, со специальным выделением акторов, которые контролируют эти факторы, преследуя свои интересы, нейтральны, способствуют или противодействуют достижению главной цели проблемосодержащей системе;

- ✓ разработанные сценарии должны учитывать не только внутрисистемные факторы и факторы внешней среды, но и ограничения на различные ресурсы.

4. Сложность и ответственность генерирования альтернатив обусловило использование для этой цели синектики. Она представляет собой метод коллективной творческой деятельности и учебного исследования, основанный на использовании интуитивно-образного, метафорического, ассоциативного мышления участников и поиске аналогий анализируемым проблемам. Применяется, прежде всего, для решения сложных творческих задач и для обучения самому процессу творческого поиска. Синектика была разработана в конце 1950-х — начале 1960-х годов американским психологом У. Гордоном. Развивалась как совместная поисковая

деятельность по решению проблем группами экспертов с использованием догадок, смелых гипотез и интуитивных решений. В отличие от «мозгового штурма» и морфологического анализа, нацеленных на генерирование как большего числа альтернатив, синектика предусматривает разработку небольшого числа хорошо обоснованных альтернатив. А это могут сделать только эксперты-синекторы.

Обычно формируется группа из 5–7 человек [5]. Отбор в группу осуществляется по признаку наличия творческих способностей, гибкости мышления, разностороннего практического опыта (предпочтение отдается лицам, владеющими несколькими профессиями или специальностями), психологической совместимости, общительности, подвижности. Сработавшись, постоянно ведет направленное обсуждение возможных аналогий с подлежащей решению проблеме. При этом предполагается использование не только трех видов подобия (прямого, косвенного, условного), но и на первый взгляд невероятных, фантастических аналогий [5]. Например, различные интерпретации представления вещей, воображаемое перевоплощение в проектируемую систему, представление своего тела на месте разрабатываемого или совершенствуемого механизма и др. При этом создается атмосфера душевного подъема, для которой характерна раскрепощенность и интенсивный творческий труд. Сложность и творческий характер труда синекторов потребовали изучения его особенностей, в том числе в области психологии, и разработки правил работы. Были установлены следующие психологические трудности, свойственные начинающим синекторам [5]:

- ✓ появление угрызений совести: деньги получаем не за работу, а как бы за хорошее времяпровождение;

- ✓ некоторое зазнайство после первой успешно решенной проблемы;

- ✓ нервное истощение вследствие умственного перенапряжения.

Основными правилами работы группы синекторов являются [5]:

- ✓ не допускается обсуждение личных качеств (достоинств и недостатков) членов группы;

- ✓ при появлении даже незначительных признаков усталости каждый синектор имеет право прекратить работу;

- ✓ роль ведущего периодически переходит к другим членам группы.

В США функционирует специальная фирма «Синектик инкорпорейтед». Она занимается подготовкой и консультированием по синектике. Считается, что использование синектики требует длительной специальной подготовки. Группа из 5–6 человек, не

завершивших курс подготовки, должна в течение года тратить четверть рабочего времени на обучение [5]. Подготовленная группа того же состава, затрачивая все свое рабочее время, может за год найти приемлемые решения по четырем небольшим и двум крупным проблемам [5].

5. Успешность работы специалистов по генерированию альтернатив во многом зависит от создания благоприятных условий и стимулирования их нелегкого труда. При этом все факторы, способствующие или тормозящие творчество, принято делить на внешние и внутренние [5].

Из внешних факторов, являющихся основными и играющих роль своеобразных катализаторов, наиболее сильное влияние на творчество специалистов оказывают общественные условия, общий культурный фон, одобрение руководства или социальных групп, материальное и моральное стимулирование. Для реализации творческого потенциала синекторов важны также климатические и погодные условия, создание комфорта для работы (отсутствие мешающих шумов, других различных неудобств).

К внутренним (психологическим) факторам относятся:

✓ интеллектуальные преграды (стереотипы, инерционность мышления, подсознательные самоограничения, связанные с убеждениями, лояльностью и т.п.);

✓ эмоциональные преграды (увлеченность критикой других, боязнь критики, опасение отрицательных заключений руководства и заказчиков на предложенные альтернативы, приверженность к некоторым типам альтернатив, обусловленную, как правило, профилем основной подготовки специалиста и др.);

✓ неправильное восприятия явлений действительности (обычно это крайние проявления: либо воспринимается то, чего нет, либо не воспринимается то, что существует).

В результате выполнения четвертого этапа системного анализа формируются, как уже отмечалось выше, допустимые альтернативы. Особенности разработки альтернатив для второго направления системного анализа — допустимых стратегий проведения операций — будут рассмотрены в 4-й главе. Учитывая итеративный характер системного анализа, на его первой итерации могут быть сгенерированы не все, а только часть допустимых альтернатив. На последующих итерациях альтернативы могут уточняться и дополняться.

В заключение следует отметить, что в ней рассмотрены основные положения системного анализа, в том числе его неформальные этапы. Эти этапы в решающей мере определяют конечные результаты исследования. Кроме того, они сложны. В этой связи в

системном анализе постоянно ведется поиск способов повышения достоверности выполнения неформальных его этапов, в которых сочетается наука и искусство. В первую очередь это относится к этапу декомпозиции сложных проблем на компоненты. В современном системном анализе значительное место занимают проблемы, связанные с обоснованием решений о качестве или эффективности операций сложных систем. Декомпозиция таких проблем на компоненты в рамках системного анализа может быть значительно облегчена при знании основных положений квалиметрии (области науки, исследующей и осуществляющей на практике методы оценки качества объектов) и теории эффективности операций сложных систем. Данное обстоятельство обусловило необходимость первоочередного изложения основных аспектов квалиметрии и теории эффективности, в первую очередь методологических, чему и посвящены следующие две главы работы.

Нацеленность последующего изложения, прежде всего, на методологические положения и аспекты названных теорий не случайна. Это обусловлено тем, что любая теория включает в качестве компонентов исходную эмпирическую основу, исходную теоретическую основу, логико-методологический компонент и основной массив ее знаний [1]. Попытка рассмотреть все даже основные положения квалиметрии и теории эффективности в одной работе просто нереальна. В то же время для характеристики системного анализа самыми главными являются логико-методологические компоненты этих теорий, прежде всего методологические положения и аспекты. Поэтому в дальнейшем основное внимание будет уделяться рассмотрению основных положений квалиметрии и теории эффективности операций сложных систем, имеющих, прежде всего, методологическую направленность. К таким положениям в первую очередь относятся предметы, понятия, методы и условия их применения данных отраслей знаний.

## **Глава 3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КВАЛИМЕТРИИ**

### **3.1. Предмет и основные исходные положения квалиметрии**

Изучение работ [9, 11, 42, 43] показало, что основными положениями квалиметрии, имеющими методологическую значимость, являются следующие:

- ✓ объект, предмет и основные исходные положения квалиметрии;
- ✓ положения об измерении свойств и качества объектов;
- ✓ положения о показателях свойств и качества объектов;
- ✓ основные виды проблем и задач, которые решаются с использованием методов квалиметрии.

Задача о том, какая система или способ ее применения является лучшим, решается на основе понятия качества. Качество, как известно, представляет собой существенную определенность объекта, благодаря которой он является именно этим, а не другим объектом [1]. Сложные объекты обладают множеством свойств, от которых зависит их качество. Свойство — это та или иная сторона объекта, которая проявляется в его отношениях с другими объектами и определяет сходство или отличие с ними [1]. Качество выражает целостную характеристику функционального единства существенных свойств объекта.

Применительно к исследованию сложных объектов-систем и проводимых ими операций основополагающими являются понятия «качество объекта», «качество операции объекта» и «качество результата операции объекта» [8, 9, 11].

Качество объекта определяется как объективное интегральное его свойство, обусловленное только особенностями его строения (составом компонентов и организацией их в единое целое). С учетом этого под качеством сложной системы следует понимать только качество ее строения. Это означает, что свойства системы должны зависеть только от свойств компонентов, составляющих

систему, и их организации в единое целое, т.е. от особенностей структуры системы и программы ее функционирования.

Таким образом, качество системы — это обобщенное свойство или совокупность свойств системы, обуславливающих ее пригодность для использования по назначению. В зависимости от назначения системы совокупность ее свойств, учитываемых при исследовании качества, может быть различна. Как было отмечено в первой главе, системы представляют собой целостности и обладают эмерджентностью, т.е. их качество и свойства не сводятся к простой сумме качества и свойств компонентов.

Научная область, изучающая закономерности процесса и методы оценки качества объектов, используемые для обоснования решений, принимаемых при управлении их качеством, называется квалиметрией (от лат. *qualis* — какой по качеству и греч. *μετρεώ* — измеряю) [11, 42, 43]. Основная ее задача — определить номенклатуру необходимых показателей качества объектов и их оптимальные или рациональные значения, а также разработать методы оценки свойств, качества объектов и объектов по качеству, обосновать методику учета изменения качества во времени [11].

Для определения объекта и предмета квалиметрии необходимо напомнить некоторые положения о них методологии научных исследований. Так, объектом познания является все то, что противостоит субъекту познания, на что направлена его познавательная деятельность, какой-либо реальный компонент действительности. Субъектом познания может быть один ученый, их группа, а также сообщество ученых какой-либо отрасли знаний. В соответствии с методологией квалиметрия относится к абстрактно-частным отраслям знаний. Для таких отраслей характерно множественность объектов познания, которые исследуются ими не полностью, а только с одной определенной стороны. Качество является атрибутом всех явлений действительности, что обуславливает очень широкую множественность компонентов реального мира, которые могут исследоваться квалиметрией. Предмет всегда уже объекта и непосредственно связан для абстрактно-частных отраслей знаний с исследуемой стороной объектов. Применительно к квалиметрии — это их свойства и качество.

Следовательно, объектом исследования квалиметрии как специфической области знаний являются явления реальной действительности различной природы и сложности, а предметом — закономерности процесса, принципы и методы оценки их качества.

Квалиметрия оформилась как самостоятельная научная область в середине шестидесятых годов прошлого столетия. Ее появление было обусловлено возникшей необходимостью исполь-

зования в практической и теоретической деятельности при управлении качеством промышленной продукции и качеством производства, количественных методов [42, 43]. Вначале предметом квалиметрии были закономерности и методы количественной оценки качества и по качеству образцов промышленной продукции, технологических процессов и труда отдельных работников и коллективов. Однако качество присуще всем явлениям, предметам и процессам. Поэтому методы квалиметрии стали применяться для исследования качества объектов любой природы. При этом используются не только количественные, но также числовые и качественные показатели.

Качество операции и качество результата операции системы — категории более высокого уровня характеристики целенаправленных действий системы, проводящей операцию, так как они зависят не только от качества системы, но и способов проведения операции и условий, в которых функционирует система. Под качеством результата операции системы понимают свойство или совокупность свойств результата, обуславливающих его пригодность для использования по назначению. При этом назначение результата операции системы и, следовательно, перечень его существенных свойств и требований к ним определяются вышестоящей системой, в интересах которой получают этот результат. Качество результата операции системы зависит от качества операции, а последнее, в свою очередь, — от качества системы, осуществляющей целенаправленный процесс. Закономерности процессов функционирования сложных систем при реализации операций и условия их приспособленности к достижению поставленных целей составляют предмет теории эффективности, основные положения которой будут рассмотрены в следующей главе.

Для правильного понимания положений квалиметрии необходимо четко представлять значения в ее рамках понятий «оценка качества объекта» и «оценка свойства объекта».

Под оценкой качества в общем случае понимаются действия по установлению качества объекта или (и) выработанное оценочное суждение о качестве [21]. Оценка, понимаемая только как действия по установлению качества и выработке оценочного суждения о качестве объекта, называется еще оцениванием качества объекта. В соответствии с этим под оценкой свойств одиночного объекта понимаются оценивание его свойств или (и) выработанные оценочные суждения о свойствах.

В квалиметрии основное содержание оценочных суждений о качестве или свойстве объектов представляет собой, как правило, определенные обобщающие выводы в соответствии с целью про-

ведения исследования качества или свойства. Естественно, что обобщающие выводы основываются, прежде всего, на анализе измеренных с использованием выбранной шкалы значений количественных или качественных показателей качества и свойств. Положения о показателях свойств и качества объектов будут рассмотрены в п. 3.3.

При исследованиях качества объектов преследуются, как правило, три основных цели, которые определяют существование трех основных видов задач, которые решаются с использованием методов квалиметрии.

Первая цель заключается в измерении показателей свойств и качества объектов с вынесением или без вынесения некоторого несложного суждения о свойствах или качестве объектов. Это простое суждение может заключаться, например, констатации малых, средних или больших значений показателей свойств или качества объектов. Самое главное состоит в том, что в таких задачах исследование свойств или качества объектов осуществляется автономно, в них закономерно отсутствует сравнительная оценка уровней свойств и качества объектов между собой и принятие каких бы ни было решений о соотношении этих уровней. В квалиметрии подобные задачи называются прямыми задачами исследования качества объектов или еще разомкнутыми [11, 42].

Вторая цель исследования качества объектов предусматривает выработку довольно сложного суждения о соотношении или предпочтительности уровней качества некоторого числа объектов. Это означает, что оценка качества объектов является сравнительной и на завершающем этапе предполагает принятие решения об уровнях их качества. Естественно, что такая оценка качества объектов может быть проведена при наличии нескольких объектов, что позволит осуществить сравнение и принять решение. Все задачи исследования качества, предполагающие принятие решений об уровне качества объектов, называются замкнутыми, т.е. считается, что принятие решения замыкает задачи [11].

Рассмотренные два вида целей исследования качества объектов и соответствующие им задачи, значительно отличающиеся друг от друга по смыслу и сложности, часто характеризуются одинаковым термином «оценка качества объектов». Это обуславливает необходимость терминологического различения задач оценки качества объектов, предусматривающих измерение показателей свойств и качества и выработку простых оценочных суждений, и задач, предполагающих сравнительную оценку качества объектов с принятием решений об их уровнях качества. Выше было отмечено



но, что задачи исследования качества первого вида назывались прямыми или разомкнутыми, а второго — замкнутыми.

Следовательно, возможно различие двух видов задач исследования качества объектов, рассмотренных выше, использованием терминов соответственно «прямые задачи оценки качества объектов», «разомкнутые задачи оценки качества объектов» и «замкнутые задачи оценки качества объектов». Вместе с тем такие термины требуют специальных пояснений, так как мало отражают суть обозначаемых ими задач. Поэтому первый вид задач исследования качества объектов целесообразней обозначить термином «задачи оценки качества объекта», а второй вид — «задачи оценки объектов по качеству». Данные термины в большей мере характеризуют суть этих двух видов задач. Это обуславливается тем, что первый из них означает, что в задаче будет оцениваться (измеряться) качество только одного объекта. Второй термин в явном виде показывает, что задача второго вида предусматривает сравнительную оценку уровней качества некоторого числа объектов, при которой обязательно принятие решения об уровнях качества, чаще всего, на предмет их пригодности или степени оптимальности. В дальнейшем изложении преимущественно именно эти термины будут использоваться для обозначения двух из трех основных видов задач исследования качества объектов. Естественно, что будет вестись речь и о прямых, разомкнутых и замкнутых задачах.

Третьей важной целью исследования качества является синтез пригодных или лучших по качеству объектов. Задача исследования качества объектов, реализующая такую цель, называется обратной задачей квалиметрии. Прямая задача квалиметрии исследует один уже существующий или проектируемый объект, а задача оценки объектов по качеству второго вида — несколько тоже реально существующих или проектируемых объектов. Отличительная особенность обратной задачи заключается в том, что ее решение должно обеспечить совершенствование существующего объекта до получения пригодного или лучшего уровня его качества или синтез принципиально нового объекта, обладающего пригодным или лучшим качеством. Такая задача также предусматривает принятие решения об уровне качества объектов, т.е. является замкнутой.

Более подробно эти три основных вида задач, при решении которых применяются методы квалиметрии, будут рассмотрены в п. 3.4.

Основными положениями квалиметрии являются следующие утверждения [9, 11].

1. Объект исследования характеризуется отдельными его свойствами, которые могут проявляться при его создании, функционировании и применении по назначению. Свойства объ-

ектов, как правило, дифференцируются по сложности. Они, например, могут быть сложными, менее сложными различных уровней и простыми. Сложные свойства разделяются на менее сложные, менее сложные свойства вышестоящего уровня могут делиться на менее сложные свойства нижестоящего уровня; простые свойства на другие свойства не разделяются.

2. Качество объекта — это обобщение или совокупность его существенных свойств, обуславливающих пригодность объекта удовлетворять определенным потребностям в соответствии с его назначением [9, 11]. Поэтому качество рассматривается как наиболее сложное свойство.

3. Оценка качества объектов и объектов по качеству осуществляется исходя из цели использования (назначения) объекта.

4. Качество сложного объекта представляется, как правило, в виде иерархической структуры свойств. На самом высоком уровне этой упорядоченной многоуровневой иерархической структуры находится качество, а на самом низком уровне — простые свойства. Эта структура может быть изображена в виде «дерева» свойств. «Дерево» свойств — это графическое представление иерархической структуры качества объекта, состоящей из сложных свойств, одного или нескольких уровней связанных с ними групп менее сложных свойств (свойств более низкого ранга) и простых свойств. Его вариант для гипотетического объекта приведен на рис. 3.1.

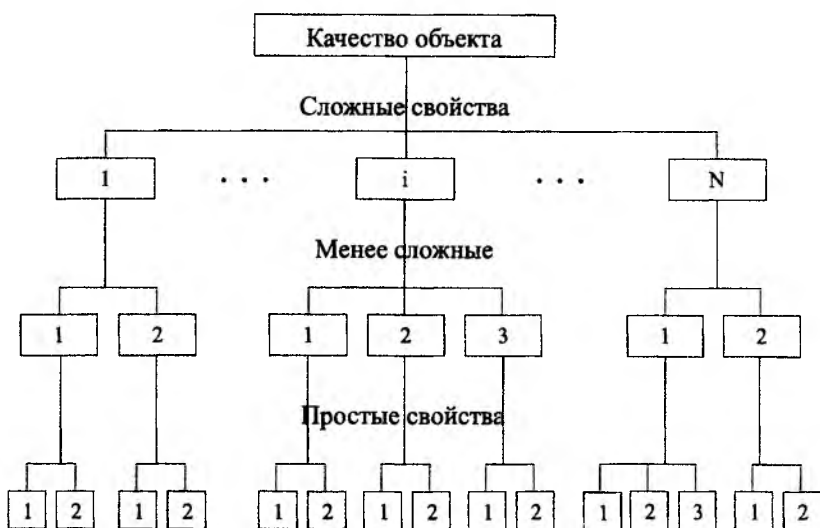


Рис. 3.1. Вариант «дерева» свойств сложного объекта

Как видно из рисунка, «дерево» свойств представляет собой связной граф, выражающий соподчинение и взаимосвязи свойств, показывающий членение качества объекта на сложные свойства, сложных свойств объекта на менее сложные свойства, а последних — на простые неделимые свойства.

Для менее сложных объектов качество может быть представлено в виде вектора свойств. Это означает, что свойства соизмеримы по важности. Самые простые объекты могут иметь одно свойство, характеризующее и их качество.

Кроме степени сложности, свойства объектов классифицируются и по другим признакам и основаниям: степени универсальности, времени и сфере проявления, функциональной роли и др. [11].

Так, по степени универсальности различают всеобщие свойства, характерные для всех объектов, и специфические, характерные для некоторых объектов. Всеобщие свойства объектов называются их атрибутами (от лат. *attribuo* — придаю, наделяю).

Свойства объектов могут различаться по времени и сфере их проявления. Например, в зависимости от стадии (этапа) жизненного цикла различают свойства изделия, проявляющиеся при производстве, эксплуатации, применении по назначению и т.д. По времени проявления для сложных боевых систем различают свойства, проявляющиеся при функционировании этих систем в мирное время и в ходе боевых действий.

В зависимости от функциональной роли выделяют, как правило, три группы свойств объектов: целевые (назначения), ограничивающие и экономические (для изделий — технико-экономические), в том числе затратные, стоимостные свойства. Однако большое разнообразие объектов не исключает выделение и группирование и других свойств.

Из выше изложенного следует, что к основным понятиям квалиметрии относятся такие понятия как «свойство объекта», «качество объекта», «оценка свойства объекта», «оценка качества объекта», «оценка объектов по качеству», «показатель свойства объекта», «показатель качества объекта», «задача исследования качества объекта». Первые пять из этих понятий уже рассмотрены в данном параграфе. Остальные понятия будут рассмотрены в других параграфах данной главы.

Таким образом, изучение закономерностей и методов оценки свойств, качества объектов и оценки объектов по качеству представляют собой одну из главных задач квалиметрии. Все виды оценок осуществляются на основе показателей свойств и качества, значения которых могут измеряться в различных шкалах. В связи с этим в следующем разделе рассматриваются основные положения по измерению свойств объектов и отношений между ними.

### 3.2. Основные положения по измерению свойств объектов и отношений между ними

При проведении исследований свойств и отношений между объектами оперируют не с самими объектами, а с некоторыми мерами, соответствующими этим свойствам и отношениям и называемыми показателями. Определение значений показателей осуществляется посредством измерений. Под измерением понимается процедура сравнения объектов по выбранным показателям [9]. В качестве показателей используются меры пространственных, временных, физических, функциональных, социологических, экономических и других свойств и характеристик объектов [9]. Более подробная характеристика показателей будет дана в п. 3.3. Измерения могут быть объективными или субъективными, по характеру являться количественными или качественными. Объективные измерения осуществляются измерительными приборами, как правило, на основе использования физических и других законов, а субъективные — экспертами с учетом их психологии мышления, знаний, опыта, предпочтений и других свойств личности.

Процедура сравнения объектов включает определение отношений между объектами и способ их сравнения. Если отношения определены и введены конкретные показатели для их сравнения, то можно установить отношения между объектами, например, меньше, равны, предпочтительнее, больше, значительно больше и т.д. Способы сравнения могут быть, например, последовательно с некоторыми граничными мерами уровня отношений, одним объектом, принятым за эталон, или объектов друг с другом в упорядоченной или произвольной последовательности [9].

Для исследований очень важной проблемой является унификация измерений различных объектов, которая позволила бы создать общую формальную схему как объективных, так и субъективных измерений. В решении этой проблемы ведущей является теория измерений [9].

В этой теории для формального описания множества объектов и отношений между ними вводится понятие эмпирической системы  $S^e = \langle D, R^e \rangle$ , где  $D = (d_1, d_2, \dots, d_n)$  и  $R^e = (R_1^e, R_2^e, \dots, R_m^e)$  — множества соответственно объектов и отношений между ними [9].

Отношение представляет собой самую общую форму описания различных связей между объектами. Частным случаем отношения является функция. При измерениях широкое применение находят отношения между двумя объектами вида  $d_i R_k^e d_j$  или  $(d_i, d_j) \in R_k^e$ , которые называются бинарными (двухместными) и означают, что

объекты  $d_i$  и  $d_j$  находятся между собой в отношении  $R_k^c$ . При наличии отношения одновременно между тремя объектами оно называется тернарным (трехместным), а между  $n$  объектов —  $n$ -нарным ( $n$ -местным). В практике субъективных измерений широко используются такие типы бинарных отношений, как эквивалентность, строгий порядок, квазиупорядок, нестрогий порядок и др. Эти типы выделяются на основе различных свойств бинарных отношений: транзитивность, рефлексивность, антирефлексивность, симметричность, антисимметричность. Более подробно бинарные отношения и их свойства будут рассмотрены в четвертой главе.

Эмпирической системе соответствует числовая система  $S^H = \langle R_{e1}, R^H \rangle$ , в которой  $R_{e1}$  и  $R^H$  множества соответственно действительных чисел и отношений между этими числами [9]. Измерение заключается в отображении объектов эмпирической системы на множество действительных чисел числовой системы таким образом, чтобы отношения между числами, отображающими объекты, сохраняли отношения между объектами. Числовая система сохраняет свойства и отношения между объектами, если она изоморфна или, по крайней мере, гомоморфна эмпирической системе. Изоморфность (от греч. ἴσος — одинаковый и μορφή — форма) и гомоморфность (от греч. ὁμός — один и тот же, равный) означают соответственно одинаковость или подобие структуры систем.

Изоморфность числовой системы эмпирической системе означает, что они подобны и существует взаимно однозначное отображение (функция)  $f$  объектов на множество чисел, причем такое, при котором отношение  $R^c$  между объектами имеет место тогда и только тогда, когда имеет место отношение между числами, отображающими объекты на числовой оси. Подобными являются такие системы с отношениями, в которых количество и местность отношений одинаковы.

В ряде случаев условие взаимной однозначности отображения чересчур жестко и не всегда необходимо. Его замена на однозначность отображения (в одну сторону) приведет к понятию гомоморфизма числовой системы эмпирической системе.

При измерении каждому объекту эмпирической системы с помощью отображения (функции)  $f$  приписывается число  $F_i = f(d_i)$ , являющееся показателем [9].

Основными проблемами в теории измерений являются проблемы представления и единственности [9]. Первая из них заключается в доказательстве возможности изоморфной или гомоморфной числовой системы. Доказано существование таких систем для описания множества объектов, связанных отношениями эквивалентности, строгого и нестрогого порядка. Эти отноше-

ния означают соответственно отношения равенства, строгого и нестрогого неравенства между числами.

Проблема единственности обусловлена существованием нескольких числовых систем. Это означает, что эмпирическая система может представляться в числовых системах различными способами и необходимо для унификации измерений установить связи между ними. Данную проблему можно трактовать как проблему определения типа шкалы, под которой понимается совокупность эмпирической системы  $S^e$ , числовой системы  $S^H$  и отображения  $f$ , т.е. шкала задается тройкой  $(S^e, S^H, f)$ . Пусть отношения между объектами может быть выражено некоторым показателем  $F$ , для измерения значений которого использованы две числовые системы с отображениями  $f_1$  и  $f_2$ . В результате измерений в данных системах получены два числовых показателя  $F_1$  и  $F_2$ , выражающие одно и то же отношение объектов. Связь между значениями  $F_1$  и  $F_2$  показателя  $F$  может быть представлена функцией  $\varphi(F)$ , т.е.  $F_1 = \varphi(F_2)$ . Эту функцию называют допустимым преобразованием шкалы показателя  $F$ .

С помощью функции допустимого преобразования  $\varphi(F)$  можно описать связь между любыми числовыми системами, используемыми для одной и той же эмпирической системы по показателю  $F$ . Следовательно, эту функцию можно использовать для описания единственности отображения. Множество  $\Phi$  всех допустимых преобразований шкалы показателя  $F$  определяет тип данной шкалы. При этом говорят, что показатель  $F$  имеет шкалу  $\Phi$  или измеряется в шкале типа  $\Phi$ . Шкала считается тем совершенней, чем меньше множество допустимых преобразований.

Наиболее широко используются номинальная, порядковая и метрическая шкалы, в которой выделяются интервальные шкалы, шкалы отношений и абсолютные шкалы [9]. Все типы шкал указаны в порядке возрастания их совершенства.

Номинальная (классификационная) шкала или шкала наименований является наименее совершенной, простейшей, качественной шкалой. Она применяется для описания принадлежности объектов к определенным классам, так как шкала сохраняет отношение эквивалентности и различия между объектами. При этом число используется для выделения объекта в тот или иной класс: всем объектам одного класса присваивается одно число, а объектам разных классов — разные числа. К показателям, которые имеет смысл измерять в номинальной шкале, относятся, например, различные решающие правила распознавания образов (они используются для определения соответствия данного образца

эталону), любые пороговые функции, предназначенные для установления в бинарном коде «да—нет» принадлежности объекта к некоторому классу (виду, типу, разновидности).

Порядковая (ранговая) шкала более совершенная, чем номинальная. Она применяется для измерения упорядоченности объектов по одному или совокупности признаков, свойств. Числа в ней определяют только порядок следования объектов, но не позволяют судить, во сколько раз или на сколько один объект предпочтительней другого. Это обусловлено отсутствием в шкале понятия масштаба и начала отсчета. Чаще всего порядковые шкалы используются в методах обработки экспертной информации для сравнительных оценок свойств объектов.

Шкалу интервалов применяют для отображения различия типа «на сколько» между свойствами объектов. Эта шкала может иметь произвольные точки отсчета и масштаб и сохраняет отношение интервалов при допустимом преобразовании. В шкале интервалов измеряются, например, сроки выполнения работ, гарантийные сроки изделий и все другие показатели, для измерения которых необходимо фиксировать масштаб и начало отсчета.

Шкала отношений представляет собой частный, самый совершенный вариант шкалы интервалов при выборе нулевой точки отсчета. В этой шкале числа отражают отношения свойств объектов и позволяют судить о том, во сколько раз свойство одного объекта превосходит аналогичное свойство другого объекта. Измерения по шкале отношений допускают сравнение не только самих значений показателей или их разностей, но и различных арифметических комбинаций этих значений, имеющих физический смысл. Показатели, измеряемые в шкале отношений, широко распространены в математике, физике, технических науках. Их примерами являются длина, масса, стоимость, напряжение и другие показатели, для которых существует естественное начало отсчета — нулевая точка.

Абсолютная шкала является самой совершенной. В ней принята нулевая точка отсчета и единичный масштаб. В абсолютной шкале существует только одно отображение объектов в числовую систему. По этой шкале определяется, например, количество объектов, которое может быть измерено единственным образом с помощью ряда натуральных чисел. Примером абсолютных шкал являются шкала температур по Кельвину, шкала значений вероятности события и др.

Тип шкалы необходимо всегда учитывать при проведении исследований. Это обуславливается, во-первых, тем, что тип шкалы определяет действия, которые можно проводить с числовыми значениями рассматриваемого показателя (в теории измерений это проблема адекватности числовых утверждений).

Во-вторых, выбор шкалы измерений зависит от характера отношений между объектами эмпирической системы, целей исследования и наличия информации. Если цель состоит, например, в ранжировании объектов по важности, то достаточно использовать порядковую шкалу. Если информация недостаточно определена, то вначале лучше измерения провести в менее совершенной шкале с последующим переходом, по мере улучшения качества информации, к более совершенным шкалам.

В теории измерений различаются первичные и косвенные измерения показателей. Косвенные измерения не зависят от эмпирической системы, являются производными от первичных измерений и реализуются с помощью специальных вычислительных процедур, которые позволяют определять числовые значения показателей путем преобразования числовых величин, получаемых прямыми измерениями. При проведении исследований косвенные измерения используются очень широко.

В заключение следует отметить, что рассмотренные положения теории измерений имеют общенаучную значимость, т.е. они применимы при проведении измерений самых различных свойств и отношений.

### **3.3. Показатели свойств и качества объектов исследования**

Качество, как обобщенное свойство объекта, непосредственно само по себе не позволяет определить степень его соответствия назначению. Для характеристики уровня качества объекта вводят показатели его свойств и качества в целом.

Показатель, как следует из положений теории измерений применительно к квалиметрии, представляет собой особое понятие, которое характеризует меру интенсивности (степени) проявления свойств объектов действительности. Рассмотрим основные положения о показателях свойств и качества объектов, которые изложены в ряде работ [9, 11]. При этом будем подразумевать, что структура качества объектов представляет собой вектор свойств. В заключительной части параграфа будут отмечены особенности структуры показателей свойств сложных объектов, качество которых характеризуется «деревом» свойств.

По своему характеру (способу выражения меры свойств объекта) показатели могут быть как количественными, так и качественными.



Количественными показателями называют такие показатели, которые имеют шкалу не менее совершенную, чем интервальная шкала. Значение количественного показателя выражает меру свойств объекта в каких-либо единицах измерения и его можно сравнивать, указывая, на какую величину или во сколько раз одно значение показателя больше или меньше другого. Количественный показатель всегда характеризуется количественной величиной (числом) и поэтому его еще называют количественным числовым показателем.

Качественными показателями называются такие показатели, которые имеют шкалу менее совершенную, чем интервальная шкала. Значения качественного показателя выражают меру свойств объекта какими-либо значениями (уровнями), описанными словесно (вербально), например, значительно меньше, меньше, равно, больше, значительно больше. По ним можно судить только о том, чем одно значение показателя отличается от другого. Качественный показатель формально можно перевести в числовой показатель, но не в количественный, приписав его словесно описанным значениям некоторые числа, определенные по какой-либо шкале.

Различают скалярный и векторный показатель, а векторные показатели разделяют на простые и составные показатели. Когда применительно к назначению объекта существенным является лишь одно его свойство, показатель качества содержит лишь один компонент и называется скалярным. Если показатель является совокупностью скалярных величин, то его называют простым векторным показателем. Совокупность простых векторных показателей образует составной векторный показатель. Формально, если этот показатель представить в виде одной совокупности всех скалярных показателей, входящих в простые показатели, то он также является простым векторным показателем.

Простые векторные показатели, входящие в составной векторный показатель, а также скалярные показатели, входящие в простой векторный показатель, называют частными показателями (соответственно векторными и скалярными). В связи с этим составной векторный показатель называют еще общим векторным показателем. Если векторный показатель (простой или составной) удастся каким-либо образом свернуть в один скалярный, то такой показатель называют обобщенным скалярным показателем.

Показатель свойства объекта — это характеристика одного из его свойств, оценивающая степень проявления этого свойства, т.е. является мерой этого свойства. Поскольку свойство — это некоторая часть целого — качества, то и показатель свойства — это пока-

затель некоторой части качества. Показатели отдельных существенных свойств объекта являются частными показателями его качества, поскольку каждый из них характеризует не все, а какую-то одну сторону объекта.

Качество объекта представляется совокупностью свойств относительно его назначения и характеризуется совокупностью значений показателей свойств, составляющих качество объекта и обуславливающих его пригодность по назначению. Эта совокупность выражает меру качества объекта и поэтому называется показателем его качества. В значительном числе случаев показатель качества объекта является векторным. В частном случае, когда применительно к назначению объекта существенным является лишь одно его свойство, показатель качества может быть скалярным.

Поскольку качество объекта определяется как совокупность его существенных свойств, то оно может быть представлено как обобщенное свойство объекта. Поэтому показатель качества можно трактовать как показатель обобщенного свойства объекта. Отсюда следует, что важнейшим при оценивании качества любого объекта является объединение многих его свойств в одно сложное свойство, мера которого позволяла бы дать однозначное заключение о соответствии исследуемого объекта своему назначению. Такое объединение свойств непросто и требует всестороннего изучения зависимостей между характеризующими их показателями.

Многообразие целей и задач оценки качества сложных объектов-систем обуславливает необходимость классификации показателей их качества и свойств по различным признакам [11]: характеризваемым свойствам, способу выражения меры проявления свойств объектов, количеству характеризуемых свойств, стадии (этапу) определения значений, отношению к принятию решения о качестве объектов, по применению для оценивания качества объектов.

Например, для промышленных изделий по характеризваемым свойствам выделяют показатели назначения, надежности, транспортабельности, технологичности, эргономические и экономические (затратные, стоимостные) показатели и др. В действительности объектов-систем имеется великое множество. Соответственно множественны их свойства и показатели этих свойств, характеризующие качество объектов. В дальнейшем будем считать, что качество условного объекта характеризуется тремя группами свойств — назначения, ограничений и экономическими или технико-экономическими (для изделий) — и соответствующими им тремя группами показателей свойств.

По способу выражения меры свойств объектов рассматривают показатели, выраженные в натуральных единицах; безразмерные показатели; показатели, выраженные в стоимостных единицах. При исследовании качества объектов всегда стремятся использовать количественные значения показателей свойств, т.е. выраженные в определенных единицах измерения. Количественные показатели относят к классу показателей, значения которых можно измерить объективными средствами. Однако сложные объекты-системы, как правило, обладают рядом свойств, которые можно оценить только качественными, безразмерными показателями. Такие показатели относятся к классу показателей, которые не могут быть определены с помощью объективных средств. Их числовые (не количественные) значения, обычно, определяются группами экспертов путем так называемых субъективных измерений с использованием специальных шкал.

По количеству характеризующих свойств различают единичные и комплексные показатели (общие, интегральные, групповые). Единичный показатель качества характеризует одно из свойств объекта, а комплексный — несколько свойств.

По стадии определения значений показателей выделяют показатели, характеризующие качество и свойства объектов на этапах их создания, эксплуатации или применении по назначению. Применительно к промышленным изделиям по стадии определения значений показателей качества выделяют прогнозируемые, проектные, производственные, эксплуатационные и другие показатели.

По отношению к принятию решения о качестве объектов показатели принято делить на определяющие и неопределяющие показатели. Показатель качества объекта, по которому принимают решение при оценке его качества, называют определяющим показателем. Он может быть единичным или комплексным. Комплексный определяющий показатель качества, относящийся только к одной группе родственных показателей объекта, называется групповым.

По применению для оценки качества и свойств объектов выделяют абсолютные, базовые и относительные значения показателей (в дальнейшем абсолютные, базовые и относительные значения показателей качества и свойств объектов могут для краткости называться просто абсолютные, базовые и относительные показатели качества и свойств).

Абсолютное значение показателя качества или свойства объекта определяется в результате измерений с использованием выбранной шкалы.

Базовое значение показателя — это значение показателя качества или свойства объекта, принятое за основу при сравнительной оценке его качества или свойства. За базовые значения показателей могут приниматься значения показателей качества или свойства лучших существующих или перспективных объектов-систем, а также допустимые (граничные) значения показателей, заданные в требованиях к объекту [11, 42, 43].

Относительное значение показателя качества или свойства объекта определяется в результате сравнения его абсолютного значения показателя качества или свойства с базовым значением. Относительное значение показателя характеризует уровень качества или свойства объекта.

Оценка свойств и качества объектов основывается на их измерении и завершается определением показателей свойств и качества. Показатели свойства и качества характеризуют уровни соответственно свойства и качества объектов. При оценке свойств и качества объектов руководствуются выработанными квалиметрией положениями, которые позволяют обоснованно подходить к выбору показателей свойств и качества, к методам их оценивания, к способам сравнения объектов по качеству.

С учетом изложенного выше четыре положения квалиметрии, рассмотренные в п. 3.1, дополняются следующими утверждениями относительно показателей свойств и качества объектов и измерения их значений [11].

1. Отдельные свойства (простые и сложные) объектов могут быть измерены. В результате такого измерения определяются абсолютные значения показателей свойств. Абсолютные значения показателей свойств характеризуют интенсивность свойств и уровень качества объекта по каждому из свойств.

2. Измерение, т.е. установление абсолютных значений показателей свойств и качества объектов, может производиться:

- ✓ на основе физических экспериментов;
- ✓ специальными экспертными методами;
- ✓ на основе моделей функционирования объектов и др.

3. Кроме абсолютного значения показателя каждое простое или сложное свойство может характеризоваться и относительным значением показателя, выявляющим степень пригодности объекта для использования по назначению или соотношение с аналогичным показателем другого объекта. Это относительное значение показателя определяется сопоставлением абсолютного значения показателя свойства объекта с его базовым значением.

4. Наряду с абсолютным и относительным значением показателя каждое свойство объекта характеризуется также своей

важностью (весомостью, значимостью) среди всех остальных свойств. Важность каждого свойства может быть выражена коэффициентом важности, который является числовой характеристикой важности данного свойства объекта среди других свойств его уровня.

5. Значение показателя качества может быть представлено как некоторая функция или функционал от значений показателей свойств объекта и коэффициентов важности этих свойств. Функция может выражать различные зависимости в виде средневзвешенной (арифметической, геометрической и др.) величины, полинома и т.д. Кроме того, значение показателя качества объекта может быть представлено не в скалярной, а в векторной форме.

6. Относительное значение показателя качества характеризует относительный уровень качества объекта. Его определение основывается на сравнении значений всех частных показателей качества оцениваемого объекта с базовыми значениями соответствующих показателей.

Как было отмечено в п. 3.1, качество сложных объектов может представлять по структуре «дерево» свойств. В этом случае учет интенсивности проявления свойств различных уровней при определении показателей качества объектов имеет большую специфику и осуществляется с использованием специальных методов, речь о которых будет идти в гл. 9.

Изложенные в этом подразделе положения о показателях свойств и качества объектов позволяют рассмотреть основные проблемы и задачи исследования качества объектов.

### **3.4. Основные проблемы и задачи исследования качества объектов**

Исследование качества направлено главным образом на обеспечение обоснования решений по проблемам выбора целесообразных по качеству вариантов существующих, совершенствуемых или проектируемых объектов различной природы.

С использованием методов квалиметрии можно решать два вида проблем:

- 1) проблему оценки качества объектов;
- 2) проблему оценки объектов по качеству и синтеза объектов с требуемым уровнем качества.

В рамках этих проблем можно выделить, как было показано в п. 3.1, три основных вида задач, при решении которых используются методы исследования качества:

- 1) задача оценки качества объектов — прямая задача квалиметрии;
- 2) задачи оценки объектов по качеству;
- 3) задачи синтеза объектов с пригодным или лучшим уровнем качества — обратные задачи квалиметрии.

Краткая характеристика задач трех этих видов будет осуществлена в этом параграфе.

### **3.4.1. Характеристика задачи оценки качества объектов — прямой задачи квалиметрии**

В п. 3.1 было отмечено, что к прямым задачам квалиметрии относятся задачи, в основе которых лежит оценка свойств и качества объектов. В результате решения таких задач измеряются показатели свойств, а также формируются показатели качества исследуемых объектов без вынесения суждения или с некоторым несложным суждением. При решении задачи этого вида процесс исследования качества в общем случае включает следующие этапы:

- 1) изучение и определение типа задачи;
- 2) декомпозицию задачи на компоненты, как правило, на основе построения вектора или «дерева» свойств оцениваемого объекта;
- 3) определение номенклатуры показателей свойств объекта;
- 4) выбор шкалы, выбор или разработку методов измерения значений показателей свойств объекта;
- 5) измерение значений показателей свойств, формирование показателя качества объекта без вынесения суждения или с несложным суждением по результатам анализа значений показателей свойств и качества.

Для данного варианта исследования качества объектов на первом этапе закономерно отсутствует выявление и формулирование проблемы, так как она ясна — оценка свойств и качества исследуемого объекта. Нет и определения цели ввиду ее определенности — измерение показателей свойств, формирование показателя качества объекта без вынесения суждения или с некоторым обобщающим суждением без принятия решения об уровне свойств или качества.

1–3-й этапы выполняются на основе требований системного подхода, а 4–5-й — положений теории измерений и положений квалиметрии о показателях свойств и качества объектов, которые рассмотрены соответственно в пп. 3.2 и 3.3.

В основе решения задачи оценки свойств и качества объектов лежит измерение свойств объектов. При этом устанавливаются основные свойства объектов и определяются абсолютные или

относительные значения показателей этих свойств. Возможен вариант, когда значения некоторых показателей известны заранее. Показатели свойств, как отмечалось в предыдущем параграфе, могут быть количественными или качественными. Качественные показатели, как уже отмечалось в п. 3.2, характеризуют интенсивность проявления какого-либо свойства объекта, например, «средняя» в возможном диапазоне «очень низкая — низкая — средняя — высокая — очень высокая». Качественные показатели могут превращаться в числовые показатели по специальным шкалам.

При исследовании качества объектов, в результате определения значений показателей основных свойств, для простых объектов может быть получен скалярный количественный показатель качества, а для более сложных объектов — составной векторный показатель  $F_k^{<m>}$  вида

$$F_k^{<m>} = \langle F_n^{(m_1)}, F_o^{(m_2)}, F_s^{(m_3)} \rangle, \quad (3.1)$$

где  $m$  — размерность общего векторного показателя качества объекта  $F_k^{<m>}$ ,  $m = m_1 + m_2 + m_3$ ;  $F_n^{(m_1)}$ ,  $F_o^{(m_2)}$  и  $F_s^{(m_3)}$  — частные векторные показатели назначения, ограничений и экономические объекта с размерностью соответственно  $m_1$ ,  $m_2$ , и  $m_3$ .

Векторный абсолютный показатель качества объекта может быть представлен и набором скалярных частных показателей качества (без выделения частных векторных показателей назначения, ограничений и экономических или технико-экономических (для изделий) в следующем виде:

$$F_k^{(m)} = \langle F_{k_1}, \dots, F_{k_2}, \dots, F_{k_m} \rangle, \quad (3.2)$$

где  $F_{ki}$  —  $i$ -й скалярный частный количественный или качественный показатель качества объекта.

Представление векторного показателя качества объекта в таком виде может понадобиться, например, в случае, если векторные частные показатели назначения, ограничений и экономические не охватывают все основные свойства объекта и необходимо вводить другие показатели. Или нет необходимости объединять показатели в группы.

В конце предыдущего параграфа было отмечено, что для сложных объектов качество представляет собой иерархическую структуру свойств различных уровней — «дерево» свойств, что предопределяет необходимость применения для определения показателей качества специальных методов. Одним из таких методов является метод анализа иерархий, который будет рассмотрен

в девятой главе. Этот метод позволяет определять обобщенный числовой скалярный показатель качества сложных объектов.

Таким образом, прямая задача квалиметрии завершается определением скалярного или векторного показателя качества исследуемого объекта. С формированием определенного вывода на основе анализа уровня свойств и качества по абсолютным или относительным значениям соответствующих показателей без учета их соотношения со значениями показателей аналогичных объектов, что не позволяет принять решения об уровне качества исследуемого объекта. Поэтому прямая задача квалиметрии, как уже отмечалось выше, относится к разомкнутым задачам исследования качества объектов.

Этот тип задачи может использоваться самостоятельно для измерения показателей свойств и формирования показателя качества объектов, быть основой различных частных задач исследования свойств и качества объектов для достижения определенных исследовательских целей или в контексте различных типов задач оценки объектов по качеству и обратных задач квалиметрии. Особенности задач оценки объектов по качеству рассматриваются ниже.

#### **3.4.2. Характеристика задач оценки объектов по качеству**

В настоящее время в квалиметрии рассматриваются четыре типовые задачи оценки объектов по качеству [9, 21]:

- ✓ задача распределения объектов по качеству по определенным классам (задача классификации, сортировки);
- ✓ задача упорядочения объектов по качеству (задача ранжирования);
- ✓ задача выделения пригодных по качеству объектов;
- ✓ задача выделения лучших по качеству объектов.

Особенностью приведенных задач является то, что оценке по качеству подвергается некоторое количество вариантов объектов, выбранных для анализа заранее. Исследования при решении этих задач или проблем оценки объектов по качеству в общем случае включает следующие этапы:

- 1) изучение и определение типа задачи;
- 2) определение цели – распределение по классам или ранжирование альтернатив, определение пригодной или лучшей альтернативы;
- 3) решение прямой задачи квалиметрии для альтернатив;
- 4) выбор или разработку критерия или решающего правила принадлежности, превосходства альтернатив, выделения пригодной или лучшей альтернативы;



5) распределение по классам или ранжирование альтернатив, определение пригодной или лучшей альтернативы с использованием критерия или решающего правила соответственно принадлежности, превосходства, выделения пригодной или лучшей альтернативы;

6) принятие ЛПР решения о качестве альтернатив.

Задача принятия решения о распределении объектов заключается в разбиении множества объектов на классы с приблизительно одинаковым уровнем качества. Часто такую задачу называют сортировкой объектов. Для сортировки объектов используется, как правило, поминальная шкала. Принятие решения о принадлежности объектов осуществляется на основе критерия или решающего правила принадлежности. При этом, как было показано во второй главе, понятие «критерий принадлежности» используется для задач оценивания качества простых объектов, качество которых характеризуется одним количественным показателем. Понятие «решающее правило принадлежности» применяется в задачах оценивания качества сложных объектов, качество которых оценивается по многим критериям.

Задача упорядочения объектов по качеству имеет место в том случае, когда имеется множество объектов, отличающихся друг от друга по показателям свойств и качества, и необходимо ранжировать их по уровню качества. При этом используется, как правило, порядковая шкала. Решение о превосходстве объектов принимается на основе применения критерия или решающего правила превосходства соответственно для хорошо структуризованных или слабоструктуризованных и неструктуризованных задач.

Задача выделения пригодных по качеству альтернатив используется в том случае, если имеются несколько объектов (системы любой природы и сложности, какие-либо изделия т.д.) и необходимо принять решение о пригодности, т.е. выделить из них объект или объекты с уровнем качества, не меньшим требуемого. Если показатель качества количественный скалярный, то выделение пригодной альтернативы осуществляется на основе сравнения значения ее показателя качества с требуемым значением, т.е. использованием критерия пригодности. Если показатель качества объекта векторный, то подход к определению показателя уровня качества остается таким же. Однако задача существенно усложняется, так как необходимо учесть соотношения всех частных показателей качества объекта с требуемыми или приемлемыми их значениями. Следовательно, решение о пригодности объекта принимается на основе проверки выполнения условий, которым

должны удовлетворять все показатели качества объекта. Эти условия называются решающим правилом пригодности.

Более широким понятием, чем пригодность объекта, является его приемлемость [9]. Это обуславливается тем, что с точки зрения цели использования объект может быть пригодным, а по каким-либо другим соображениям он оказывается неприемлемым. В дальнейшем будет использоваться только термин «пригодность» в несколько расширенном понимании — как «приемлемость».

Задача выделения лучших по качеству объектов имеет место тогда, когда необходимо выбрать наиболее ценный или предпочтительный в каком-то смысле вариант объекта. В этом случае решается задача оценивания оптимальности качества объекта, и исследующей стороной используется критерий оптимальности или решающее правило оптимизации. Если объекты простые и их качество характеризуется скалярным количественным показателем, то используется критерий оптимальности, и может быть определен объект с оптимальным качеством. В большинстве случаев, когда объекты сложны, показатели их качества как минимум векторные, включают как количественные, так и качественные частные показатели, оптимальную альтернативу определить невозможно. При решении таких задач используется решающее правило оптимизации, с помощью которого выделяются лучшие альтернативы.

Следует обратить внимание на то, что в данном параграфе рассматривались в основном такие многокритериальные задачи исследования качества объектов, для которых характерен общий критерий, представляющий собой вектор частных критериев. В соответствии с этим, при оценивании использовался векторный показатель качества. Вместе с тем, выше было показано, что качество объектов может представлять иерархию из уровней сложных, менее сложных и простых свойств. Данное обстоятельство обуславливает возможность использования при оценивании качества сложных объектов-систем декомпозиции проблем в иерархическую структуру свойств. Принятие решений о качестве таких объектов осуществляется с применением специальных методов, например, как отмечалось выше, метода анализа иерархий, который будет охарактеризован в девятой главе.

Из анализа этапов задач оценки объектов по качеству следует, что задачи выделения пригодных и лучших альтернатив представляют собой по сути задачи системных исследований качества объектов, которые решаются с помощью операционных исследований или системного анализа.

### 3.4.3. Характеристика обратных задач квалиметрии

Обратные задачи квалиметрии предусматривают синтез объектов с требуемым качеством. В их основе лежит управление качеством объекта с целью придания ему необходимых свойств и требуемой степени их проявления. При решении этих задач ставится, как правило, цель синтеза объекта с пригодным или лучшим уровнем качества. Синтез объекта представляет собой итеративный процесс, в котором осуществляется последовательное совершенствование качества объекта с циклическим повторением ряда этапов, связанных с оценкой уровня качества и принятием решения о соответствии его требуемому уровню. Обратная задача квалиметрии в общем случае включает следующие этапы:

- 1) изучение и определение типа задачи;
- 2) определение цели — синтез объекта с пригодным (приемлемым) или лучшим уровнем качества;
- 3) решение прямой задачи квалиметрии для рассматриваемого варианта объекта;
- 4) выбор или разработка критерия или решающего правила для определения пригодности или степени оптимальности исследуемого объекта по качеству;
- 5) определение пригодности или степени оптимальности исследуемого объекта по качеству с помощью критерия или решающего правила определения соответственно пригодности или степени оптимальности;
- 6) принятие ЛПР решения о пригодности или достаточной степени оптимальности синтезируемого объекта по качеству; при положительном решении — конец исследования, а при отрицательном — выполнение следующего этапа;
- 7) обоснование мер по совершенствованию и разработка более совершенного варианта объекта по уровню качества, переход к выполнению 3-го этапа.

Это означает, что такие обратные задачи включают, как правило, два повторяющиеся цикла исследования. В первом цикле обосновываются меры по совершенствованию свойств и качества объекта, формирование его более совершенного по качеству варианта. Во втором цикле определяется пригодность или степень оптимальности улучшенной альтернативы по качеству. Циклов решения обратной задачи может быть довольно много, так как осуществляется последовательное совершенствование объекта. Решение обратной задачи прекращается, когда исследователь достиг своей цели или убедился, что удовлетворяющего его качества объекта получить невозможно и необходимо искать другие пути решения проблемы.

Обратные задачи квалиметрии можно решать и вторым способом. Он отличается от первого способа тем, что сразу формирует-

ся несколько допустимых вариантов синтезируемого объекта с последующей оценкой их по качеству. Это позволяет учесть в одном цикле гораздо большее число факторов, влияющих на уровень качества объекта, и существенно уменьшить количество циклов исследования и затраты времени.

Специфика этапов решения обратных задач квалиметрии свидетельствуют о том, что эти задачи, как и рассмотренные выше задачи оценки объектов по качеству, решаются с использованием методов исследования операций или системного анализа.

Из изложенного в данном параграфе следует, что все задачи исследования качества объектов, кроме прямой задачи квалиметрии, завершаются принятием решения о качестве объектов. В этой связи основные квалиметрические задачи являются замкнутыми. Их замыкание, как уже отмечалось выше, обеспечивается принятием решений о качестве исследуемых объектов. Отсюда следует важный вывод о том, что основные квалиметрические задачи невозможно решать без применения методов теории принятия решений.

В заключение можно отметить, что положения теории квалиметрии помогают в выполнении неформальных этапов системного анализа при обосновании решений по проблемам, связанным с исследованием качества объектов.

Так, ряд положений о качестве и свойствах объектов, несомненно, позволяют усилить научную сторону этапа изучения и определения типа проблем.

Основные задачи оценки объектов по качеству расширили диапазон возможных целей системных исследований. Во второй главе речь шла преимущественно об одной цели — выделении лучших альтернатив. Квалиметрия дополнительно к этой цели рассматривает сортировку, ранжирование и определение пригодных альтернатив.

Положения квалиметрии о качестве и возможной сложной его структуре могут использоваться при декомпозиции проблемы на компоненты. Существенным подспорьем в этом плане являются также общие положения о показателях качества и свойств объектов и их измерении или определении.

Методы квалиметрии позволяют проводить исследование качества объектов-систем в статике. Оценка качества функционирования, качества операций, проводимых сложными системами, и качества результатов этих операций осуществляется с использованием методов теории эффективности, основные положения которой, носящие методологический характер, будут рассмотрены в следующей главе.

## **Глава 4. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

### **4.1. Предмет и основные исходные положения теории эффективности**

Изложение основных положений теории эффективности, имеющих методологическую значимость, в данной работе основывается на материалах, опубликованных по теории эффективности операций технических систем [8, 9]. Это обусловлено тем, что теория и методы эффективности появились и начали развиваться для исследования именно технических систем. В силу чего теория эффективности операций таких систем в настоящее время наиболее разработана. Авторами указанных выше работ отмечается, что многие изложенные в них положения сохраняют свою значимость и для сложных систем другой природы. Анализ этих трудов показал, что к таким положениям относятся:

- ✓ объект, предмет и основные исходные положения теории эффективности;
- ✓ характеристика факторов, влияющих на эффективность операций сложных систем;
- ✓ основные виды проблем и задач, которые решаются с использованием методов теории эффективности;
- ✓ общая схема исследования эффективности сложных систем.

Исходные положения теории эффективности будут рассмотрены в этом параграфе, а остальные — в следующих параграфах данной главы.

В настоящее время теория эффективности — интенсивно развивающееся научное направление, имеющее свой объект и предмет, цель и задачи исследования, методологическую и естественнонаучную основу, систему основных понятий и язык, методы выражения своих теоретических результатов и другие компоненты, присущие всякой теории [8, 9].

Современное развитие теории эффективности характеризуется интенсивной разработкой и внедрением в практику исследований относительно нового фундаментального направления — системных исследований эффективности. Методологическую его основу составляют системный подход и системный анализ. Именно основные самые общие методологические положения системных исследований эффективности сложных систем и будут рассмотрены в данном параграфе.

Сложные системы создаются для удовлетворения одной из важных потребностей государства и общества и являются, как правило, целенаправленными или целеустремленными. Вопрос о том, действия какой сложной системы или способ ее применения для достижения цели лучше, т.е. качество функционирования или качество результата функционирования системы, решается на основе понятия эффективности.

Эффективность (от эффективный — дающий эффект, действенный [21]) — это наиболее общее, определяющее свойство любой целенаправленной деятельности, которое с познавательной точки зрения раскрывается через категорию цели и объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени [9].

Это фундаментальное понятие совместно с понятиями «цель», «требуемый (желаемый) результат», «операция», «активные средства», «стратегия проведения операции», «реальный результат операции», «эффективность операции», «показатель эффективности операции системы» образуют исходную базу для формирования всего понятийного аппарата и других компонентов теории эффективности.

Под целью, как уже отмечалось, понимается идеальное представление требуемого результата, достижимого в пределах некоторого интервала времени. Сложная система является, как правило, подсистемой сложной системы более высокого уровня — надсистемы. Поэтому цель функционирования исследуемой системы определяется, как правило, надсистемой. Цель считается достигнутой, если в итоге предпринятых действий получен соответствующий этой цели результат. Чтобы проверить достигнута ли цель или нет, ее необходимо формализовать. В теории эффективности вопрос формализации цели имеет принципиальное значение. Он обычно решается путем введения  $m$ -мерного вектора параметров целеполагания  $Y_{mp}^{(m)}$ , задающих требуемый результат. Перечень и значения (количественные или качественные) этих параметров определяются по результатам неформального анализа проблемной ситуации.

Требуемый результат может быть получен осуществлением совокупности определенных действий системы, в процессе выпол-

нения которых для достижения поставленной цели используются активные средства. Под активными средствами в теории эффективности понимаются сама сложная система и ресурсы (вещественные, энергетические, информационные, финансовые, временные и др.). Такая совокупность целенаправленных действий называется операцией. Следовательно, операция — это упорядоченная совокупность взаимосвязанных действий сложной системы, объединенных общим замыслом и направленных на достижение вполне определенной цели [9]. Эту цель называют целью операции и в формализованном виде выражают, как было показано выше, требуемым результатом, который характеризуется в общем случае вектором параметров целеполагания  $Y_{mp}^{(m)}$ .

Реальный результат операции (фактический или ожидаемый), качество которого характеризуется  $m$ -мерным векторным показателем  $Y_{(u)}^{(m)}$ , есть тот результат, который получен или может быть получен при проведении операции с использованием некоторой стратегии  $u$ . При этом под стратегией  $u$  проведения операции понимается конкретный способ использования активных средств, т.е. самой системы и ресурсов. В силу действия различного рода факторов реальный результат операции может отличаться от требуемого результата. К основным факторам, влияющим на ход и исход операции, относятся качество самой оперирующей системы, способ ее использования в операции — стратегия и условия внешней среды. Об успешности операции судят по степени соответствия показателя качества ее реального результата  $Y_{(u)}^{(m)}$  показателю требуемого результата  $Y_{mp}^{(m)}$ , т.е. по степени достижения цели операции.

Отсюда следует, что эффективность операции есть степень соответствия реального (фактического или ожидаемого) результата операции требуемому результату или, иными словами, степень достижения цели операции. Таким образом, если методы квалиметрии позволяют проводить исследование качества сложных систем в статике, то методы теории эффективности позволяют исследовать качество операций и качество результатов операций этих систем — качество целенаправленного действия.

Качество проведенной операции как целенаправленного процесса и ее результата может быть определено лишь в рамках системы более высокого уровня по отношению к рассматриваемой системе — надсистемы. В этом смысле эффективность операции требует установления динамической взаимосвязи между свойствами сложной системы, характеризующими ее качество, способами и условиями проведения операции и целью операции, определяемой вышестоящей системой. Таким образом, эффек-

тивность является определяющим и наиболее общим комплексным свойством операции, так как она характеризует приспособленность процесса функционирования систем к достижению цели операции и зависит практически от всех факторов, влияющих на ее ход и исход. Именно эта особенность эффективности как свойства операции, характеризующего успешность ее проведения, ставит задачи исследования эффективности на одно из ведущих мест в комплексе исследований по определению и обоснованию рациональных путей решения возникающих перед обществом проблем и задач.

Как и всякое свойство, эффективность операции обладает определенной интенсивностью своего проявления. Мету интенсивности проявления эффективности операции называют показателем эффективности. Следовательно, в соответствии с определением эффективности  $m$ -мерный векторный показатель эффективности операции  $W_{(u)}^{(m)}$  есть мера степени соответствия реального результата операции, качество которого характеризуется своим показателем  $Y_{(u)}^{(m)}$ , требуемому результату, который характеризуется своим показателем  $Y_{(u)}^{(m)}$ , или, другими словами, мера степени достижения цели операции.

С формальной точки зрения, любая операция представляет собой обмен, в результате которого сторона, проводящая операцию, за полученный полезный эффект — целевой результат с показателем качества  $Y_{(u)}^{(m)}$  — расплачивается определенным количеством затраченных ресурсов (материальных, энергетических, информационных и т.д.) и затратами времени на проведение операции. В принципе, время — это тоже расход ресурсов (временных). В ряде случаев возможен взаимный обмен временных ресурсов с другими ресурсами по принципу: быстрее — дороже, медленнее — дешевле и т.п. Однако функциональная значимость времени при исследовании эффективности операции требует отдельного его рассмотрения.

Оперирующая сторона должна организовать и провести операцию так, чтобы указанный обмен был для нее как можно более выгодным. С этой точки зрения эффективность операции — это не просто способность давать целевой результат с  $m_1$ -мерным векторным показателем качества  $G_{(u)}^{(m_1)}$ , а именно действенность такой способности, т.е. результативность, соотношенная с затратами всех видов ресурсов, характеризующимися  $m_2$ -мерным векторным показателем  $C_{(u)}^{(m_2)}$  (ресурсоемкостью операции), и времени, характеризующимися  $m_3$ -мерным векторным показателем  $T_{(u)}^{(m_3)}$  (оперативностью операции).



Следовательно, показатель качества реального результата операции сложной системы представляет собой в общем случае  $m$ -мерный вектор, включающий в себя три соответствующих группы компонентов ( $m = m_1 + m_2 + m_3$ ) [8, 9]:

$$Y_{(u)}^{(m)} = \langle G_{(u)}^{(m_1)}, C_{(u)}^{(m_2)}, T_{(u)}^{(m_3)} \rangle. \quad (4.1)$$

Вектор может быть сформирован только после того, как цель операции сформулирована, формализована и представлена вектором параметров целеполагания  $Y_{mp}^{(m)}$ , задающих требуемый результат операции [8, 9]

$$Y_{mp}^{(m)} = \langle G_{mp}^{(m_1)}, C_{mp}^{(m_2)}, T_{(mp)}^{(m_3)} \rangle. \quad (4.2)$$

Задание векторов  $Y_{mp}^{(m)}$  и  $Y_{(u)}^{(m)}$  необходимо для введения показателя эффективности операции, основным требованием к которому является соответствие цели операции. Этот показатель получается в результате сравнения векторного показателя качества реального результата операции с вектором параметров целеполагания. Если результат выражается случайной переменной, то формально показатель эффективности операции вводится как математическое ожидание общей функции соответствия векторного показателя качества реального результата операции вектору параметров целеполагания, т.е. [8, 9]

$$W_{(u)}^{(m)} = M \left[ \rho \left( Y_{(u)}^{(m)}, Y_{mp}^{(m)} \right) \right], \quad (4.3)$$

где  $\rho \left( Y_{(u)}^{(m)}, Y_{mp}^{(m)} \right)$  — общая функция соответствия.

Если же  $Y_{(u)}^{(m)}$  и  $Y_{mp}^{(m)}$  являются неслучайными величинами, то [9]

$$W_{(u)}^{(m)} = \rho \left( Y_{(u)}^{(m)}, Y_{mp}^{(m)} \right). \quad (4.4)$$

Это означает, что в условиях определенности общая функция соответствия представляет собой показатель эффективности.

Показатель эффективности может быть представлен тремя частными векторными показателями эффективности в следующем виде [8, 9]

$$W_{(u)}^{(m)} = \langle W_{(u)g}^{(m_1)}, W_{(u)c}^{(m_2)}, W_{(u)t}^{(m_3)} \rangle, \quad (4.5)$$

где  $W_{(u)g}^{(m_1)}$ ,  $W_{(u)c}^{(m_2)}$  и  $W_{(u)t}^{(m_3)}$  — частные векторные показатели соответственно целевого результата, затрат ресурсов и времени.

Не исключается представление показателя эффективности совокупностью скалярных показателей, называющихся частными скалярными показателями эффективности, т.е. [8, 9]

$$W_{(u)}^{(m)} = \langle W_{(u)1}, \dots, W_{(u)n}, \dots, W_{(u)m} \rangle, \quad (4.6)$$

где  $W_{(u)i}$  —  $i$ -й частный скалярный показатель эффективности операции.

В частных случаях, при исследовании отдельных видов систем, может использоваться и скалярный показатель эффективности. К ним, например, относятся детерминированные и вероятностные (стохастические) системы, состояние и процессы в которых могут быть отражены строгими формальными зависимостями. При этом определяются только скалярные показатели целевого результата, а на показатели затрат ресурсов и времени накладываются ограничения, как правило, в виде неравенств.

Формы (4.3) и (4.5) представления показателей эффективности являются наиболее общими и отражают идеи их определения. При исследовании операций систем на основе общих выбираются конкретные формы показателей.

Как квалиметрия, так и теория эффективности направлены на исследование качества сложных объектов-систем. Только методы квалиметрии, как было показано в п. 3.1, позволяют осуществлять исследование качества объектов в статике по совокупности их свойств. Теория эффективности исследует наиболее общее, определяющее свойство сложных объектов-систем — качество их действий при достижении поставленной цели, которое характеризуется качеством результата функционирования и качеством процесса функционирования.

Показателем качества процесса функционирования может являться векторный показатель реального результата, зафиксированный в определенный момент времени операции  $T_0$ , т.е. вектор  $Y_{(u)T_0}^{(m)}$ . Вместе с тем для оценки качества процесса функционирования могут применяться и другие показатели, обусловленные спецификой функционирования конкретно исследуемой системы.

Следовательно, объектом теории эффективности являются операции сложных систем, а предметом — «закономерности, связывающие эффективность операции с качеством активных средств, способами их использования в операции и условиями обстановки» [9, с. 17].

Основным методом, используемым при исследовании эффективности операций сложных систем, является моделирование, как правило, математическое. Это обусловлено сложностью или невозможностью создания физических моделей таких систем и про-

ведения натуральных экспериментов. При исследовании сравнительно простых систем часто удается выразить показатели эффективности математически в виде целевых функций от управляемых факторов с ограничениями в виде равенств или неравенств [9]. Это позволяет применять при выборе лучшей стратегии методы математического программирования. Для сложных систем, проводящих крупномасштабные операции, подобное выражение показателей эффективности невозможно. При исследовании эффективности таких систем чаще всего используется имитационное моделирование.

Используемые модели должны в максимально возможной степени учесть факторы, которые влияют на эффективность операций. Характеристика этих факторов будет осуществлена в следующем параграфе.

#### **4.2. Характеристика факторов, влияющих на эффективность операций сложных систем**

На эффективность операции сложной системы влияет большое количество различных по природе факторов. Их принято делить на три группы [8, 9]:

- ✓ качество системы, проводящей операцию;
- ✓ условия функционирования системы;
- ✓ способы применения активных средств, т.е. системы и ресурсов (стратегии).

Как отмечалось в первой главе, сложных систем различной природы много. Соответственно каждая из них может обладать многими свойствами. Для технических систем специалисты выделяют пять сложных основных свойств [8, 9]: устойчивость, помехоустойчивость, управляемость, способность и самоорганизация. Ими обладают многие системы и другой природы. Эти свойства расположены в порядке возрастания сложности. Система, которой присуще более сложное свойство, обладает и всеми более простыми свойствами.

Под устойчивостью системы понимается ее способность выполнять свои функции и сохранять параметры при воздействии внутренних и внешних факторов. Если система не обладает этим свойством, то существовать она не может. Для сложных систем характерны различные формы устойчивости, например, гомеостазис, живучесть, надежность и др. [8, 9].

Помехоустойчивость системы представляет ее способность противодействовать помехам. Особую значимость для обеспечения помехоустойчивости сложной системы имеют такие свойства

ее системы управления, как помехозащищенность и надежность системы связи и переработки информации, возможности по кодированию и декодированию информации, электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и др. [9].

В общем случае управляемость означает способность системы переходить за заданное время из одного состояния в другое под влиянием управляющих воздействий, оперативно выполнять команды управления [9]. Управляемость включает такие свойства системы как гибкость, оперативность, непрерывность, быстроедействие управления, сочетание централизации управления с предоставлением подсистемам инициативы выбора способов достижения частных целей и др. Для сложных систем управляемость включает также одно из важнейших их свойств – способность вырабатывать оптимальные или рациональные решения. На основе решений формируются управляющие воздействия. Управляемыми могут быть только помехоустойчивые системы, так как низкая помехоустойчивость обуславливает возможность искажения информации и срыва управления.

Способность системы объединяет те свойства системы, которые определяют ее функциональное назначение, т.е. потенциальные возможности по достижению поставленной цели – потенциальную эффективность операций, проводимых данной системой [9]. При этом под потенциальной эффективностью понимается эффективность операции при идеальных способах ее проведения. Система, способная достигать цели в операциях, обязательно является управляемой.

Наиболее сложным свойством системы является самоорганизация. Самоорганизующиеся системы обладают внутренним источником саморазвития и являются очень сложными. В своей эволюции они стремятся к максимальной структурной устойчивости в условиях воздействий внешней среды. Закономерности и механизмы самоорганизации сложных систем изучаются, как уже отмечалось в первой главе, синергетикой. Для систем этого типа характерны способность изменять свою структуру и параметры, свобода выбора решений, адаптация, самообучение, распознавание ситуаций, переподчинение своих подсистем, перераспределение задач и ресурсов между компонентами с целью совершенствования функций и др. [9]. Принцип свободы выбора состоит в том, что система выбирает не одно, а несколько рациональных решений. В зависимости от условий обстановки используются такие решения, которые обеспечивают свободу выбора решения в последующем. Этим самым достигается гибкость и повышается эффективность управления.

Исследование систем может проводиться на уровне охарактеризованных выше сложных свойств, так как далеко не все системы обладают всеми этими свойствами.

Условия функционирования системы в операции формируют следующие группы факторов [9]:

- ✓ природные факторы;
- ✓ факторы активных действий партнеров или конкурентов;
- ✓ факторы ограничений.

К природным факторам относятся пассивные по отношению к действиям системы факторы, например, природно-климатические условия, географическое местоположение и др.

Факторы активных действий характеризуют возможность, характер и способы содействия партнеров или целенаправленного противодействия конкурентов или противников.

Ограничивающими факторами являются экономические (обеспеченность ресурсами), социальные, экологические, состояние и возможности используемой инфраструктуры и другие ограничения.

К факторам, характеризующим способы применения активных средств – стратегии, относятся: распределение задач и ресурсов между компонентами системы; пространственно-временная последовательность и способы действий; способы управления и планирования; способы связи и взаимодействия между компонентами системы и с партнерами, способы обеспечения действий и др. [9].

Способы применения активных средств (стратегии) выбираются ЛПР с учетом конкретно складывающейся обстановки операции. При этом под обстановкой понимается состояние оперирующей системы и внешней среды в фиксированный момент времени операции. Совокупность существенных факторов обстановки называют условиями обстановки. Факторы обстановки принято делить по трем основаниям [9]: отношению к исследуемой системе; возможности учета при выборе стратегий; информированности о них ЛПР.

По отношению к исследуемой системе факторы обстановки принято делить на внешние и внутренние [9]. Внешние факторы отражают влияние компонентов внешней среды. Внутренние факторы характеризуют влияние внутренних сил и средств системы на ход и исход операции.

По возможности учета при выборе стратегий ЛПР факторы принято делить на управляемые и неуправляемые [9]. К управляемым факторам относятся те из них, которые контролируются ЛПР, на которые он может влиять. В их число входят прежде всего факторы, характеризующие способы применения активных средств.

Неуправляемые факторы – это факторы, которые не контролируются ЛПР. К ним относятся все факторы внешней среды, закономерности функционирования исследуемой системы и др.

Факторы обстановки отображают в виде числовых и нечисловых переменных. Классификация факторов для технических систем в зависимости от информированности об этих переменных ЛПР приведена на рис. 4.1 [9]. Анализ показал, что она актуальна и для других систем. Из данных, представленных на рисунке, видно, что факторы делятся на определенные и неопределенные.

Определенными являются те переменные, значения которых известны с необходимой точностью. Они представляют собой известные (регулярные) функции определенных аргументов, за-

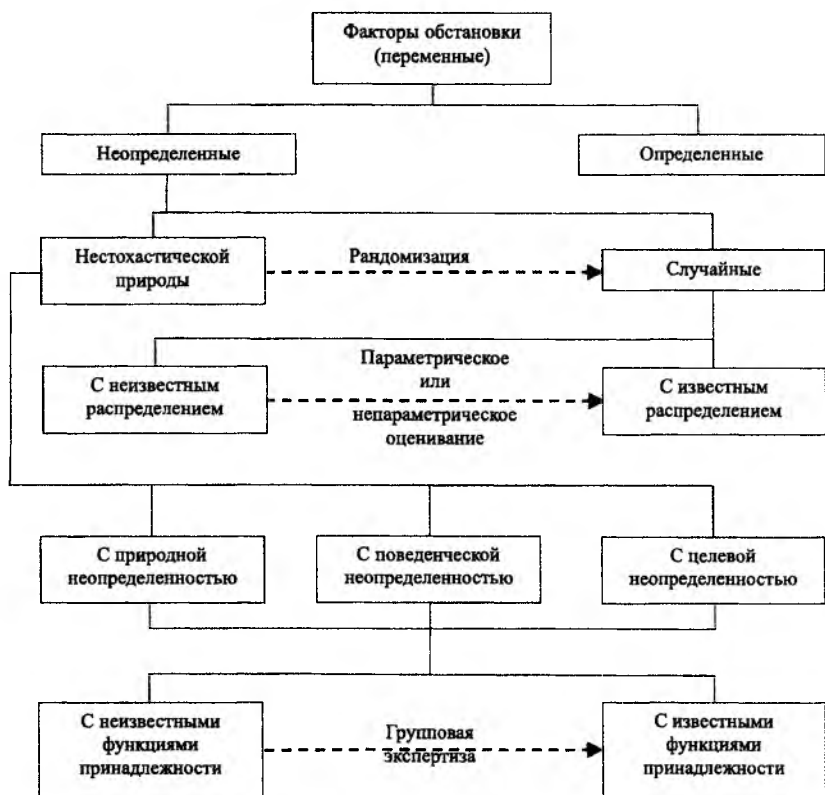


Рис. 4.1. Классификация факторов обстановки по информированности о них ЛПР

данные параметры и т.н., а также контролируемые входные воздействия, в том числе управляемые переменные [9].

Неопределенные факторы характеризуются переменными, о значениях которых нет полной и достоверной информации. При этом природа неопределенности факторов может быть различной. Например, недостаток исходной информации о проблемной ситуации, неполная достоверность этой информации, трудность предсказания поведения среды, партнеров, конкурентов или противников, неточность определения цели, недостаток опыта ЛПР и помогающих ему экспертов, аналитиков и других лиц и т.д.

Неопределенные переменные делятся на две группы: случайные переменные и неопределенные переменные нестохастической природы. Иногда переменные нестохастической природы удается рандомизацией перевести в случайные переменные.

Случайные переменные подразделяются на переменные с известным и неизвестным распределением. Если распределение случайной переменной известно (например, в виде функции распределения), то такая переменная статистически определена. Случайные переменные с неизвестным распределением, как правило, сводятся к переменным с известным распределением непараметрическим или параметрическим оцениванием.

Нестохастическая неопределенность факторов различается трех следующих видов [9]:

- ✓ природная неопределенность, возникающая в результате наличия недостаточно изученных явлений, которые сознательно не противодействуют, но могут существенно повлиять на процесс обоснования и принятия решений;

- ✓ поведенческая неопределенность, которая характеризуется целенаправленным противодействием со стороны конкурирующих систем и неизвестными способами их действий;

- ✓ целевая неопределенность, которая обуславливается нечетким определением цели.

Неопределенные факторы нестохастической природы условно разделяются на факторы с известными и неизвестными функциями принадлежности (диапазонами изменения переменных). Функция принадлежности задает некоторую подобласть (подмножество) изменения фактора в пределах общей допустимой области. Величина подобласти характеризует степень определенности фактора: чем меньше (больше) подобласть, тем больше (меньше) степень определенности. Граничным случаем является выделением в подобласти одного значения фактора, что переводит его в разряд определенных факторов.

Наибольшая степень неопределенности свойственна факторам с неизвестными функциями принадлежности. Для оценивания диапазонов изменения значений таких факторов обычно используются экспертные процедуры. Часто для описания и определения функций принадлежности факторов нестохастической природы применяется аппарат теории нечетких множеств. В обычном «четком» подмножестве  $B$  функция принадлежности к нему элемента  $b$  принимает только два значения: 1 — элемент  $b$  принадлежит подмножеству  $B$ ; 0 — элемент  $b$  не принадлежит подмножеству  $B$ . Функция принадлежности элемента  $d$  нечеткому подмножеству  $D$  характеризует степень принадлежности элемента данному подмножеству и может принимать значения от 0 до 1. Эту функцию вводят обычно в виде лингвистической переменной, т.е. переменной, значения которой выражаются в естественном языке. Например, лингвистической переменной является категория «сложность системы», значения которой могут выражаться следующими словами: не сложная, не очень сложная, сложная, довольно сложная, очень сложная, сверхсложная. Функцию принадлежности строят, как правило, по результатам проведения групповой экспертизы.

### **4.3. Основные методологические уровни и принципы исследования эффективности сложных систем**

#### **4.3.1. Основные методологические уровни исследования сложных систем**

Для сложных систем принципиальную значимость имеет выделение различных методологических уровней исследования их эффективности. При этом обычно рассматриваются два подхода к выделению уровней. Первый из них связан с принципами усложняющегося поведения, а второй — с качественно различными уровнями исследования систем [9].

Принципы усложняющегося поведения служат основой изучения сложных систем. В системологии установлены пять принципов усложняющегося поведения систем [9]:

✓ принцип вещественно-энергетического баланса, который означает, что поведение системы во всем диапазоне ее функционирования не приводит к нарушению законов сохранения вещества и энергии. Этот принцип характерен для любых по сложности систем. Однако для простейших систем он является основным;

✓ принцип гомеостаза, согласно которому система имеет возможность возвращаться в состояние устойчивого равновесия при выведении из него каким-либо внешним воздействием. Гоме-



остатическое поведение обусловлено наличием в системе отрицательной обратной связи. Системы, для поведения которых этот принцип является основным, называются гомеостатическими или системами регулирования, в том числе автоматического. Управление в них сводится к регулированию;

✓ принцип выбора решений, означающий, что сложная система организует свое поведение на основе рационального выбора из множества альтернатив путем непосредственного наблюдения органами управления ситуации и принятия решений в зависимости от сложившихся условий без предвидения дальнейшего развития обстановки. Системы, для которых этот принцип является ведущим, реализуют так называемое индуктивное поведение, т.е. основывающееся только на непосредственном опыте и наблюдении сложившейся ситуации. Такие системы имеют ограниченный объем памяти и называются решающими;

✓ принцип перспективной активности, согласно которому система организует свое поведение на основе предшествующего опыта и предположении, что последующие ситуации будут существенно отличаться от предшествующих. Это ей позволяет на основе ретроспективного анализа предвидеть будущее и заблаговременно принимать решения, определяющие ее поведение в будущем. Системы, в поведении которых принцип перспективной активности является ведущим, имеют достаточно емкую память и называются предвидящими;

✓ принцип рефлексии, в соответствии с которым система может организовывать свое поведение с учетом возможного мысленного представления о способах ее действий органа управления другой сложной системы, находящейся с первой системой в определенных отношениях, например, в состоянии конкуренции или противоборства. В этом случае под рефлексией понимается отражение мыслительного процесса органа управления другой системы. ЛПР первой системы может демонстрировать ЛПР второй системы ложные намерения и таким образом стимулировать его на принятие решений, выгодных для своей стороны. Если это удастся, то ЛПР первой системы осуществляет рефлексивное управление второй системой. В таком случае ЛПР первой системы находится в первом ранге рефлексии, а конкурент — в нулевом. Если же конкурент также находится в первом ранге рефлексии, то рефлексивное управление существенно затрудняется. Но ЛПР первой системы может перейти во второй ранг рефлексии — анализировать ход мысли конкурента о процессе своего мышления — и добиться рефлексивного управления. Конечно, если так же не поступит конкурент. Системы, организующие свое поведение на

основе принципа рефлексии, должны обладать значительным интеллектом, довольно сложны и называются проницательными или рефлексивными.

Принципы приведены в порядке усложнения поведения систем. При этом если поведение системы соответствует более сложному принципу, то оно соответствует и всем менее сложным принципам.

Исследования эффективности сложных систем необходимо начинать с установления ведущего принципа, на котором основывается поведение системы. Это важно, так как ведущий принцип определяет тип системы и общие подходы к ее исследованию.

Опыт исследования эффективности показал необходимость выделения следующих четырех методологических уровней анализа сложных систем [9]:

- 1-й уровень — «состав-свойства» (компонентный уровень);
- 2-й уровень — «структура-функции» (агрегативный уровень);
- 3-й уровень — «организация-поведение» (системный уровень);
- 4-й уровень — «метасистема-деятельность».

Первый методологический уровень предусматривает изучение компонентного состава системы и различных свойств компонентов. На этом уровне понятие эффективности операции не используется.

Объектом исследования на втором уровне являются операции систем, входящих в качестве подсистем в надсистему, которая представляет собой организационную или организационно-техническую систему. Системы, исследуемые на этом уровне, выполняют ограниченные по масштабу и разнообразию функции, имеют относительно простую структуру, достаточно четко определенные цели, а внешняя среда сравнительно стабильна. Показатель эффективности операций для таких систем обычно количественный скалярный, а ведущим в организации поведения является принцип перспективной активности.

На методологическом уровне «организация-поведение» исследуются крупномасштабные операции организаций — организационных или организационно-технических систем. Такие системы могут иметь в своем составе в качестве подсистем несколько сложных человеко-машинных систем, состоящих из систем, сложность которых не превышает уровня исследования «структура-функции». Связи между подсистемами динамичны, внешняя среда также носит изменчивый динамический характер. Эффективность сложных систем третьего уровня исследований может быть отображена, как правило, только векторным показателем. Системы данного уровня обладают свойством самоорганизации. Ведущим принципом их поведения является принцип рефлексии. Это обуславливает суще-

ствешную неопределенность поведения этих систем, что в значительной мере затрудняет формальное описание их состояния и функционирования, предопределяет необходимость более высокого методологического уровня исследований.

Уровень «метасистема–деятельность» предполагает исследование сложных глобальных систем – метасистем, которые в своей структуре имеют организации с их внешней средой. В качестве таких систем можно рассматривать, например государства, их хозяйственные системы, отдельные отрасли экономики, военно-политические, экономические и другие крупные объединения и союзы международного и государственного уровней [9]. Деятельность метасистем включает различные линии поведения входящих в нее организаций и направлена на достижение определенных глобальных целей. Сложность метасистем и их деятельности такова, что их анализ не поддается формализации и возможен только на описательном (вербальном) уровне.

Системный анализ является сложным методологическим средством, объединяющим исследования на третьем и четвертом методологических уровнях [9]. При этом основной анализ проводится на третьем уровне. Объединение с четвертым уровнем состоит в том, что анализ основывается на концепции метасистемы. В соответствии с данной концепцией организации рассматриваются как подсистемы метасистемы, что обуславливает подчинение целей и поведения организаций целям и деятельности метасистем.

#### **4.3.2. Основные принципы системных исследований эффективности сложных систем**

К основным принципам системных исследований эффективности относятся принципы внешнего дополнения, декомпозиции систем и принцип обобщения и детализации исследований [9].

Принцип внешнего дополнения является фундаментальной идеей теории систем и основополагающим для теории эффективности. Его требования основываются на теореме К. Геделя о неполноте непротиворечивых формальных систем. В соответствии с этой теоремой в рамках одной формальной системы невозможно вывести дедуктивным путем из аксиом как истинные все ее остальные утверждения [9, 44]. Поэтому при исследовании системы некоторого уровня нужна более широкая система, в рамках которой были бы сформированы принципиальные положения для компенсации неполноты исследуемой системы, т.е. внешнее дополнение. Метасистема не имеет внешнего дополнения и поэтому принципиально неформализуема, но позволяет выработать внешнее дополнение

для систем третьего методологического уровня исследований. Это дополнение позволяет выделить и вычленить организацию как целостность из метасистемы, выдвинуть обоснованные гипотезы ее поведения и перейти к формальному описанию, согласовать цели организаций с целями деятельности метасистемы [9].

Системный анализ и исследование операций относятся к нормативным теориям [9]. Такие теории основываются не на аксиомах и постулатах или положениях, обоснованных статистически или экспериментально. Системный анализ в качестве исходных положений использует гипотетическое знание. Выдвижение гипотез поведения для организаций возможно только на основе изучения деятельности метасистемы. Ввиду неформализуемости метасистемы внешнее дополнение для организаций (различного рода гипотезы поведения) вырабатывается в вербальной форме. Воспринять такое неформализованное внешнее дополнение может только человек. Это предопределяет принципиальную необходимость деятельности человека — ЛПР — в органе управления системы третьего уровня. ЛПР при принятии решений руководствуется положениями теории принятия решений и учитывает внешнее дополнение. Внешнее дополнение обеспечивает введение объективных критериев эффективности для организаций, основываясь на их полезности для деятельности и достижения целей метасистемы.

Внешнее дополнение для систем второго уровня вырабатывается в рамках систем третьего уровня исследований. При этом дополнение формируется в строгом формализованном виде, что позволяет принимать решения на основе четких формальных критериев. В принципе, участие человека в органе управления для этих условий не обязательно: системы второго уровня могут быть автоматическими.

Таким образом, внешнее дополнение предназначено, прежде всего, для исключения субъективизма ЛПР в выборе критерия эффективности, так как такая ошибка не позволит провести исследование эффективности. Оно «является тем логическим замыканием, которое в совокупности со свойствами (качеством) исследуемой системы, условиями и способами ее использования составляет необходимые условия для определения ее эффективности» [9, с. 46].

Принцип декомпозиции играет важную роль в системном анализе. Применительно к рассмотренным выше четырем методологическим уровням анализа систем он означает, что сложную систему третьего уровня можно расчленить при исследованиях на системы второго уровня. Это целесообразно по той причине, что системы уровня «структура-функции» легче изучать. Однако после анализа систем второго уровня требуется исследование

системы третьего уровня как целостности, т.е. с учетом свойства эмерджентности, которое утрачивается при декомпозиции.

Существенной особенностью исследований эффективности современных иерархических систем является их сложность и высокая размерность решаемых задач. Это, как правило, не допускает полного формализованного описания их функционирования в рамках одной математической модели. В этих условиях в соответствии с принципом обобщения и детализации исследований реализуется поэтапная процедура — проведение исследования по последовательно убывающим уровням обобщения информации об основных факторах, влияющих на эффективность операции. В соответствии с этим системные исследования эффективности принято разделять на обобщенные и детальные [9]. В обобщенных исследованиях выделяются концептуальный и операциональный уровни [9].

Концептуальные исследования рассматриваются как высший уровень исследований при наиболее высокой степени обобщения факторов. Их целью является установление общих тенденций развития, форм и способов организации изучаемого процесса, выработка концепций по основным вопросам организации и проведения крупномасштабных операций, определения системы целей и задач, а также принципов применения сложных систем в операции [9]. Концептуальные исследования проводятся с позиций метасистемы в основном на четвертом и в общей части — на третьем методологических уровнях анализа систем [9]. Характерно, что они осуществляются, как правило, на ранних этапах принятия решений для определения областей возможных стратегий с учетом множества концепций, устанавливаемых неформальным путем [9]. Это обеспечивает содержательность и рациональную взаимосвязь остальных этапов исследований.

На операциональном уровне определяется функциональная структура операции (средства достижения целей и их связи) [9]. При этом степень обобщения факторов в них ниже, чем при концептуальных исследованиях. Результатом операционального исследования также являются перечни задач конкретным подсистемам (средствам), показатели и критерии их выполнения, сами подсистемы и средства связи между ними. Операциональные исследования проводятся на третьем и частично на втором уровнях исследований. Их цель — выработка рекомендаций по выбору стратегий и тактик действий систем соответственно для третьего и второго уровней.

Детальные исследования направлены на анализ качества подсистем систем, исследуемых на втором и третьем методологических уровнях [9]. Проводятся они на первом уровне и характе-

ризуются низким уровнем обобщения факторов. Детальные исследования обеспечивают решение всех вопросов, касающихся облика конкретных средств [9].

При решении общей задачи исследования эффективности сложных систем важно выдержать последовательность проведения исследования: сначала «сверху вниз» (от цели операции), а затем «снизу вверх» (к цели) [9].

#### **4.4. Основные виды проблем и задач, которые решаются с использованием методов теории эффективности**

В целом исследование эффективности операций сложных систем направлено на обеспечение принятия оптимальных или рациональных решений по проблемам обоснования и разработки новых направлений развития техники, обоснования основных параметров сложных изделий, выбора целесообразных вариантов существующих или проектируемых систем и рациональных стратегий использования активных средств в операциях.

В практике исследования эффективности принято выделять три основных вида проблем [8, 9]:

- ✓ проблему оценки эффективности операции сложной системы;
- ✓ проблему выбора целесообразных стратегий использования активных средств в операциях;
- ✓ проблему оценки сложных систем по эффективности операций и синтеза сложной системы с требуемой эффективностью операций.

В рамках этих проблем можно выделить четыре основных вида задач, при решении которых используются системные исследования эффективности операций сложных систем:

- 1) задачи оценки эффективности операций сложных систем [9];
- 2) задачи выбора пригодных, лучших или адаптивных стратегий проведения операций [9];
- 3) задачи оценки сложных систем по эффективности операций;
- 4) задачи синтеза сложных систем с пригодной или лучшей эффективностью операций.

Краткая характеристика этих задач приведена ниже.

##### **4.4.1. Характеристика задачи оценки эффективности операций сложных систем**

Задача оценки эффективности операций сложных систем по постановке аналогична задаче оценки качества объектов, рассмот-

ренной в п. 3.4.1. В этой связи она является прямой задачей исследования эффективности операций. Эта задача также включает процесс оценивания эффективности, определение показателя эффективности операции и может завершаться несложным суждением об эффективности операции системы. Суждение не предусматривает принятие решения об эффективности операции и может представлять собой оценочное суждение типа «хорошая эффективность», «малая эффективность» и т.п. Задача оценки эффективности операции включает следующие этапы:

- 1) определение типа задачи;
- 2) определение цели операции и параметров целенаправленного;
- 3) выбор или разработку модели операции;
- 4) определение значений показателей реального результата с использованием модели для определенной стратегии;
- 5) определение значений показателя эффективности и при необходимости формирование простого оценочного суждения об эффективности операции.

Первые два этапа данной задачи являются неформальными и выполняются на основе системного подхода. При разработке модели операции также в полной мере используются положения системного подхода и методы моделирования.

Прямая задача исследования эффективности операций сложных систем является, как правило, составной частью задач исследования эффективности операций сложных систем второго, третьего и четвертого видов. Эти задачи являются задачами системного анализа с использованием методов теории эффективности или задачами системных исследований эффективности, так как предусматривают принятие решений по рассматриваемым проблемам. Кроме того задачи оценки эффективности операций могут использоваться при решении целого ряда частных задач исследования эффективности. К таким задачам можно, например, отнести [9]:

- ✓ определение допустимости или возможности практического использования оцениваемой стратегии проведения операции в той или иной обстановке;
- ✓ исследование влияния различных факторов на эффективность операций сложных систем, т.е. их вкладов в общую эффективность;
- ✓ установление путей повышения эффективности операций сложных систем;
- ✓ исследование функциональных возможностей компонентов сложных систем и средств, используемых в операциях, и др.

#### 4.4.2. Характеристика задач выбора пригодных, лучших или адаптивных стратегий проведения операций

Широко распространенными и важными в теории эффективности являются задачи выбора пригодных, лучших или адаптивных способов использования в операции активных средств, т.е. стратегий. Это обусловливается тем, что большую практическую значимость имеют вопросы управления сложными системами, одним из наиболее важных и ответственных среди которых является выбор пригодного, оптимального или рационального способа действий из имеющихся альтернатив.

При исследовании эффективности сложных систем в рамках данных задач, прежде всего, устанавливаются ведущие принципы поведения системы. Применительно к техническим системам к таким принципам в настоящее время, как было отмечено в п. 4.3.1, относятся принципы энергетического баланса, гомеостаза, выбора решений, перспективной активности и рефлексии [9].

Установив ведущие принципы, положенные в основу поведения системы, необходимо выявить концепцию принятия решений об эффективности ее функционирования, которая определит вид критерия или решающего правила. Существуют три таких концепции (приведены в порядке возрастания сложности) [4]: пригодности; оптимизации; адаптивизации.

Согласно концепции пригодности рациональной является любая альтернатива управления, для которой значение показателя реального результата не ниже требуемого. Это означает, что показатель эффективности определяется как функция соответствия показателя реального результата операции показателю требуемого результата. Его значения изменяются скачком от единицы, если значения показателя реального результата не меньше значений показателя требуемого результата, до нуля в противном случае.

Концепция оптимизации относит к рациональным управлениям лишь те управления из заданного ограниченного их множества, которые обеспечивают наибольшую результативность (максимальный эффект) в операции, т.е. максимизацию значения показателя эффективности. При этом предполагается, что условия проведения операции при варьировании управлений остаются неизменными. Оптимальная альтернатива управления, как и при оценивании качества объектов методами квалиметрии, может быть определена только для тех систем, функционирование которых корректно формализуется, а показатель эффективности — скалярный. Для более сложных систем, показатель эффективнос-



ти операций которых является векторным, может достигаться только оптимизация стратегий.

Концепция адаптивизации предполагает прогнозирование возможных условий и способов проведения операции на основе не только априорной (статической) и (или) текущей (динамической), но и прогнозной (виртуальной) информации. Использование всех видов информации позволяет получить не только целенаправленные, но и гибкие решения. Здесь осуществляется своеобразный переход от «статической» модели явлений к «динамической». Следовательно, суть концепции адаптивизации состоит не просто в выборе «лучшего», как это имеет место в концепции оптимизации, а именно в постоянном движении к «лучшему», в динамическом уточнении решений, принимаемых в обстановке, для которой характерны быстро изменяющиеся условия и действия конкурентов. При этом, с учетом реализации принципов перспективной активности и рефлексии, в динамике принимаются решения на совершенствование функционирования сложной системы, при котором каждый раз добиваются оптимизации значения показателя эффективности. Это означает, что концепция адаптивизации фактически представляет собой специфическую концепцию оптимизации, реализуемую по особой технологии. Эта технология предполагает организацию рационального поведения систем на основе следующих принципов формирования критериев или решающих правил: принципа селекции, принципов свободы выбора решений и самообучения [9].

Принцип селекции предусматривает использование многоэтапной процедуры отбора лучших альтернатив. При этом на каждом последующем этапе используется более совершенный критерий или решающее правило, что позволяет постепенно сужать множество лучших решений.

Принцип свободы выбора реализуется для систем, обладающих способностью к самоорганизации. Этот принцип уже кратко характеризовался в п. 4.2 при рассмотрении сложных свойств систем. Дополнительно можно отметить, что он не рекомендует принимать решения во всех деталях на некоторую перспективу по результатам обработки априорной информации. Свобода выбора предусматривает возможность оперативной корректуры принимаемых решений по получаемой текущей информации.

Принцип самообучения состоит в том, что система запоминает и анализирует многие внешние воздействия, реакции на эти воздействия и результаты реакций. Адаптивное поведение системы обеспечивается совершенствованием на этой основе реакций системы с целью повышения эффективности операции.

Когда ведут речь об эффективности операции сложной системы, то это понятие связывают с представлением о целесообразном, рациональном ее ходе и исходе с точки зрения представителя сложной вышестоящей системы (надсистемы) — лица, принимающего решение. Это означает, что ЛПР должно принять решение об эффективности операции на основе сопоставления скалярного или векторного показателя качества реального результата с соответствующим скалярным или векторным показателем параметров целеполагания. Для этого необходимо иметь определенное правило такого сопоставления, согласованное с представлениями ЛПР о рациональном ходе и исходе операции. Такое правило, как уже не раз отмечалось ранее, называют критерием или решающим правилом эффективности.

Рассмотренные концепции принятия решений об эффективности операции представляют ту основу, на которой формируются все критерии или решающие правила эффективности: пригодности, оптимизации, адаптивизации. Критерии или решающие правила эффективности зависят от типа и особенностей исследуемых систем. Конкретный вид и порядок использования разнообразных критериев и решающих правил при исследовании эффективности сложных технических систем описан в работах по теории эффективности этих систем [4]. Общие положения по критериям и решающим правилам будут изложены в следующей главе при рассмотрении основных методологических аспектов теории принятия решений.

Задачи выбора пригодных, лучших или адаптивных стратегий включают следующие этапы:

- 1) изучение и определение типа проблемы;
- 2) определение цели — выделение пригодных, лучших или адаптивных стратегий;
- 3) формирование допустимых стратегий;
- 4) оценку эффективности операций для альтернативных стратегий;
- 5) выбор или разработку критерия или решающего правила пригодности, оптимизации или адаптивизации для рассматриваемых альтернатив;
- 6) определение пригодных или степени оптимальности исследуемых альтернативных стратегий с помощью соответствующего критерия или решающего правила;
- 7) принятие решения ЛПР о пригодности или степени оптимальности выделенных стратегий.

Второй, третий и четвертый вид задач исследования эффективности операций сложных систем, рассмотренные в данном параграфе, являются весьма важными в рамках общей проблемы выбора. Эти задачи выделены в данной работе преднамеренно, так как

представляют с точки зрения ее целей наибольший интерес: они решаются в рамках второго направления системного анализа. Вместе с тем данные задачи не исчерпывают весь круг задач, связанных в теории эффективности с выбором. Так, в общей проблеме выбора применительно к техническим системам рассматривается много задач, связанных с выбором рациональных способов использования в операциях активных средств или направлений и путей развития сложных систем. К ним, например, относятся следующие задачи [9]:

- ✓ выбора рациональных способов управления различными техническими средствами, имеющими заданные технические характеристики;
- ✓ определения целесообразных режимов эксплуатации систем и их компонентов;
- ✓ оптимизации планов проведения операций;
- ✓ оптимизации распределения ресурсов между компонентами систем в операциях;
- ✓ синтеза рациональных вариантов проектируемых систем;
- ✓ разработки программ развития сложных технических систем;
- ✓ обоснование технико-экономических требований к создаваемым системам и др.

#### **4.4.3. Характеристика задач оценки сложных систем по эффективности операций**

Этот вид задач исследования эффективности сложных систем также родственен задачам исследования объектов по качеству, рассмотренных в предыдущей главе. Это означает, что в них осуществляется сравнительная оценка по эффективности операций нескольких уже существующих, совершенствуемых или проектируемых сложных систем с принятием решений об уровнях эффективности. Типовыми задачами этого вида являются задачи ранжирования, а также определения пригодных или лучших сложных систем по эффективности операций.

Задачи ранжирования, выбора пригодных или лучших систем по эффективности проводимых ими операций включают следующие этапы:

- 1) изучение и определение типа проблемы;
- 2) определение цели — ранжирование, выделение пригодных или лучших систем по эффективности операций;
- 3) оценку эффективности операций для исследуемых конкурирующих вариантов сложной системы;

4) выбор или разработку критерия или решающего правила ранжирования, определения пригодности или степени оптимальности рассматриваемых вариантов систем по эффективности проводимых ими операций;

5) ранжирование, определение пригодности или степени оптимальности исследуемых вариантов систем с помощью соответствующего критерия или решающего правила;

6) принятие решения ЛПР о ранжировании, пригодности или степени оптимальности качества вариантов исследуемых систем по эффективности операции.

1-й и 2-й этапы данной задачи и начальные этапы задачи оценки эффективности операций также являются неформальными.

Естественным требованием исследования эффективности в задачах ранжирования, выбора пригодных или лучших систем из имеющихся альтернатив является фиксирование уровня условий и использование одинаковых стратегий в каждом цикле решения этих задач.

#### **4.4.4. Характеристика задач синтеза сложных систем с пригодной или лучшей эффективностью операций**

Этот вид задач исследования эффективности операций сложных систем также родственен аналогичным видам задач исследования качества объектов, рассмотренных в третьей главе, т.е. такие задачи являются по своей сути обратными задачами исследования эффективности операций. Их основное отличие от подобных квалиметрических задач состоит в том, что решение о пригодности или оптимальности синтезируемых систем осуществляется по показателям эффективности операций, проводимых исследуемыми системами. Обратная задача также включает повторение циклов совершенствования существующей системы и проверки эффективности ее операций на пригодность или степень оптимальности.

В общем случае задача синтеза сложной системы с пригодной или лучшей эффективностью операций включает следующие этапы:

1) изучение и определение типа проблемы;

2) определение цели – синтез системы с пригодным или лучшим уровнем эффективности операций на основе существующего ее варианта;

3) выбор или разработку модели операции;

4) оценку эффективности операции для сформированного варианта системы;

5) выбор или разработку критерия или решающего правила определения пригодности или степени оптимальности рассматриваемого варианта системы по эффективности операции;

6) определение пригодности или степени оптимальности рассматриваемого варианта системы с помощью соответствующего критерия или решающего правила;

7) принятие решения ЛПР о пригодности или степени оптимальности качества варианта синтезируемой системы; при положительном решении — завершение исследований, а при отрицательном — их продолжение переходом на 8-й этап;

8) обоснование мер по совершенствованию сложной системы — разработка более совершенного ее варианта, повторение исследований, начиная с четвертого этапа.

1-й и 2-й этапы данной задачи являются неформальными этапами системного анализа. 3–7-й этапы задачи повторяются до синтеза системы с требуемым уровнем эффективности операций или вывода о нецелесообразности дальнейших исследований.

Также возможен второй способ реализации обратной задачи исследования эффективности операций сложных систем. Он предусматривает формирование сразу нескольких допустимых вариантов синтезируемой системы и выбор из их числа пригодных или лучших по эффективности операций альтернатив. Этот способ исследования эффективности операций, как и подобный способ выполнения обратной задачи квалиметрии, позволяет сократить количество циклов исследования из-за учета гораздо большего количества факторов при рассмотрении не одного, а одновременно нескольких допустимых вариантов системы.

Основным способом определения показателя качества реального результата операции является моделирование, в первую очередь, логико-математическое. Разработка корректных моделей функционирования сложных систем сложна и трудоемка. Поэтому очень часто, при отсутствии моделей, для исследования сложных систем приходится применять, прежде всего, структурные статические модели или методы квалиметрии.

В заключение необходимо еще раз отметить, что как оценивание качества объектов-систем в квалиметрии, так и оценка качества их функционирования в теории эффективности завершается принятием решений соответственно о качестве или эффективности, т.е. без знания теории принятия решений невозможно проведение исследования качества сложных объектов-систем. В первой главе было отмечено, что современный системный анализ предполагает органическое использование методов теории принятия решений. Учитывая большую значимость теории принятия решений для системных исследований, ее основные методологические положения изложены в следующей главе.

## **Глава 5. ПРЕДМЕТ И ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

### **5.1. Предмет и основные исходные положения теории принятия решений**

В п. 2.1 было отмечено, что системно-аналитическую процедуру, рассматриваемую как модель обоснования решений, в общем случае можно разделить на две части: моделирование проблемной ситуации и решение задачи выбора из альтернатив. Модель проблемной ситуации включает выбранные критерии, сформированные допустимые альтернативы и модели, обеспечивающие определение показателей привлекательности альтернатив или показатели эффективности операций сложных систем. В результате моделирования проблемной ситуации создаются условия для решения задачи выбора из допустимых альтернатив.

Процессу выбора решений свойственны свои закономерности, принципы и методы которые изучаются одним из важнейших в настоящее время научным направлением — теорией принятия решений. Изучением ряда работ по этой теории [11, 24, 25, 41] установлено, что к основным ее положениям, имеющим методологическую значимость, относятся следующие положения:

- ✓ предмет и основные понятия теории принятия решений;
- ✓ виды задач принятия решений;
- ✓ классификация и общая характеристика задач принятия решений;
- ✓ характеристика методов решения основных, наиболее типичных задач принятия решений.

В данной главе будут рассмотрены предмет и основные понятия теории принятия решений, виды, классификация и краткая характеристика типовых задач принятия решений.

В русском языке термин «решение» означает заключение, вывод из чего-нибудь, а решить (принять решение) — обдумав, прийти к какому-нибудь выводу [17]. Специалисты под принятием решений понимают особый процесс человеческой деятельности, направленный на выбор наилучшего или удовлетворяющего определенным требованиям варианта действий или объекта [11, 24, 25, 41]. Предметом теории принятия решений являются закономерности процесса принятия решений и разработка методов и технологии их подготовки и выбора. При этом центральное место в проблематике науки о принятии решений занимает исследование процесса выбора человеком одного из вариантов решения. На процесс принятия человеком решения влияют многие факторы. К основным факторам относятся, прежде всего, интеллект, особенности психики и уровень профессиональной подготовки людей, наличие и качество специальных методов, а также систем поддержки принятия решений (СППР). В развитии теории принятия решений участвуют психологи, математики, специалисты по искусственному интеллекту, информатике, вычислительной технике, теории организаций и др. Специфическую «окраску» в применение положений и методов науки о принятии решений приносят ряд социально-гуманитарных (прежде всего, экономические, политические, социальные и другие науки), технических и естественных наук, военная наука.

Теория принятия решений рассматривает математические и другие модели процессов принятия решений и их свойства. Основной в ней является задача принятия решений — задача выбора из сформированных на начальных этапах системного анализа альтернатив. Эта задача заключается в определении оптимального (наилучшего), лучшего или эффективного варианта решения для достижения поставленных целей.

Под целью, как уже отмечалось в предыдущих главах, понимается идеальное представление желаемого состояния или результата деятельности. Если реальное состояние или результат не соответствует желаемому, то имеет место проблема. Выработка плана действий по устранению проблемы составляет сущность задачи принятия решений. Проблема всегда связана с определенными условиями, которые принято называть сложившейся ситуацией. Совокупность проблемы и ситуации образует, как уже отмечалось во 2-й главе, проблемную ситуацию. Выявление, опи-

сание и моделирование проблемной ситуации дает исходную информацию для постановки задачи принятия решений.

Общую ситуацию, в которой происходит принятие решения, характеризуют следующие основные признаки:

- 1) наличие цели;
- 2) наличие определенного числа альтернативных (взаимоисключающих) действий для достижения цели — вариантов; если же имеется один вариант действий, то выбора нет и решение принимать не надо, оно очевидно;
- 3) наличие ограничивающих факторов: решение принимается обычно в условиях действия большого числа факторов, ограничивающих возможность выбора из альтернатив. Отсутствие ограничений значительно упрощает задачу принятия решения.

Таким образом, задача принятия решения возникает в том случае, когда существует цель, которую надо достичь, возможны различные способы ее достижения и имеются факторы, ограничивающие возможности достижения цели. Как было не раз отмечено во второй и других главах, основными ограничивающими факторами являются факторы внешней среды и ограничения на ресурсы.

Основную роль в задаче принятия решений играет лицо, принимающее решение. ЛПР, как отмечалось во 2-й главе, называют человека (группу людей), имеющего (имеющих) цель, которая служит мотивом постановки задачи и поиска путей ее решения. Оно принимает решение на основе своей системы предпочтений и несет за него ответственность. В задачах принятия решений участвуют и другие люди или группы людей, роли которых кратко охарактеризованы в п. 2.1.

Рассмотрение предмета и основных положений теории принятия решений осуществляется чаще всего применительно к выбору лучших вариантов. Вместе с тем, анализ задач принятия решений, характерных для квалиметрии и теории эффективности (они рассмотрены в третьей и четвертой главах), и изучение работ [9, 11, 25] позволяет выделить по признаку особенностей цели четыре традиционные задачи принятия решений:

- ✓ распределение альтернатив по классам (определение принадлежности альтернатив, сортировка);
- ✓ упорядочение альтернатив, т.е. их ранжирование по ценности, привлекательности, качеству или важности;
- ✓ определение пригодности альтернатив;
- ✓ выделение одной лучшей альтернативы или нескольких лучших альтернатив.



Задача распределения альтернатив по классам (сортировки) очень часто встречается на практике. Так, на классы подразделяются по престижности места работы, вузы, по качеству — группы товаров, по привлекательности для чтения — книги и др. В основе решения подобных задач лежит группирование в классы по степени интенсивности действия различных факторов или проявления свойств, по которым классифицируются альтернативы.

Задача упорядочения альтернатив (в квалиметрии — задача оценивания превосходства объектов по качеству) предполагает ранжирование альтернатив по ценности или важности, а значит и определение лучшей альтернативы. При этом часто для решения подобных задач, как будет показано в гл. 7–9, используются те же методы, что и для выделения лучшей альтернативы.

В задачах определения пригодности предпочтения ЛПР изменяются скачком от 0 до 1 — либо альтернативы его не удовлетворяют полностью, либо удовлетворяют в полной мере. Такие задачи могут решаться двумя способами [9, 25, 31]. Первый из них заключается в определении всех пригодных альтернатив, а затем в выделении из них лучшей. При втором способе находится лучшая альтернатива, которая затем проверяется на пригодность. Отсюда следует, что задача определения пригодности альтернатив теснейшим образом связана с задачей выделения лучшей альтернативы.

Из вышеизложенного ясно, что главной в теории принятия решений является задача выделения и выбора лучшей альтернативы. В связи с этим дальнейшее изложение посвящено рассмотрению методов решения именно этой задачи с указанием, при необходимости, особенностей решения других задач.

## 5.2. Виды задач принятия решений

На начальных этапах развития теории принятия решений в самом общем случае считалось, что задачу принятия решения образует пара  $\langle A, K_{pn} \rangle$  [11, 41], в которой  $A$  является множеством вариантов решения (из них нужно выделить некоторое подмножество лучших альтернатив, в частном случае — одну), а  $K_{pn}$  — решающее правило (в частном случае для хорошо структурированных проблем — критерий оптимальности), дающее представление о качестве вариантов. Следовательно, наиболее общая постановка задачи принятия решения могла быть записана в виде следующего логического высказывания

$$\langle A, K_{pn}; A^* \in A \rangle. \quad (5.1)$$

Это высказывание означает, что из множества альтернатив  $A$  по решающему правилу  $K_{pn}$  необходимо выделить подмножество лучших альтернатив  $A^*$  ( $A^* \in A$ ). Отсутствие хотя бы одного из указанных элементов лишает задачу принятия решения смысла. Если нет множества  $A$ , то выделить решение не из чего. Если нет решающего правила  $K_{pn}$ , то найти подмножество  $A^*$  невозможно, поскольку неизвестно, как выбирать решение.

Задачи принятия решений, в зависимости от имеющейся информации о множестве вариантов решения  $A$  и решающем правиле  $K_{pn}$ , разделялись на три вида [11, 41]:

- 1) общие задачи принятия решений;
- 2) задачи выбора;
- 3) задачи оптимального выбора (общие задачи оптимизации).

В общей задаче принятия решений как  $A$ , так и  $K_{pn}$  могут быть неизвестными. Здесь множество  $A$  не имеет заранее определенных границ, оно может в процессе формирования решения дополняться и видоизменяться, а решающее правило  $K_{pn}$  не формализовано или даже не фиксировано.

В задаче выбора множество  $A$  однозначно определено, но решающее правило  $K_{pn}$  не формализовано или даже не фиксировано.

В задаче оптимального выбора множество  $A$  однозначно определено, а решающее правило  $K_{pn}$  формализовано, т.е. может быть описано количественно, представляет собой критерий оптимальности и результаты его применения к элементам  $A$  не зависят от субъективных факторов.

Задача выбора и общая задача оптимизации являются частными случаями общей задачи принятия решений. Общая задача принятия решений и задача выбора относятся к не полностью определенным задачам.

Решение общей задачи принятия решений в теории предусматривается сведением ее к задаче выбора путем сужения универсального множества альтернатив (под ним понимаются все возможные, в том числе и заведомо непригодные варианты) до множества возможных рациональных альтернатив, которое называется допустимым. Вместе с тем в традиционной теории принятия решений не разрабатываются методы формирования множества допустимых альтернатив.

При рассмотрении во второй главе основных положений системного анализа было отмечено, что выработка решений по сложным проблемам различного характера включает в качестве начальных неформальные этапы, начиная выделением, изучением, формулированием и определением типа проблемы и закап-

чивая выделением, как правило, допустимых альтернатив. Методы традиционной теории принятия решений не предусматривают выполнение указанных этапов, возлагая эту работу на ЛПР и его помощников, которая составляет важный и ответственный компонент системного анализа или операционного исследования.

Три вида задач, которые изначально рассматривались в теории принятия решений, подтверждают, что основной в ней является задача выбора лучшей альтернативы и методы ее решения. При этом считается, что цель и допустимые альтернативы полностью или хотя бы частично уже известны.

Перед рассмотрением порядка и методов решения задач выбора необходимо изложить классификацию этих задач и дать им общую характеристику, что и будет осуществлено ниже.

### **5.3. Классификация и общая характеристика задач принятия решений**

Задачи принятия решений классифицируются по нескольким признакам или основаниям. Наиболее общими и существенными из них являются [5, 9, 25, 31, 41]:

- 1) степень определенности факторов, влияющих на процесс выбора и принятия решения;
- 2) количество критериев, по которым сравниваются альтернативы;
- 3) степень объективности модели принятия решения;
- 4) степень проявления фактора времени;
- 5) количество лиц, принимающих решения;

Кратко рассмотрим типы задач принятия решений, выделяемые по этим основаниям. При этом будут в полной мере использованы положения, относящиеся к классификации и декомпозиции проблемных ситуаций и изложенные во второй главе при характеристике начальных этапов системного анализа, так как типаж задач принятия решений закономерно тесно связан с типажом решаемых проблем.

1. Степень определенности факторов является одним из важнейших классификационных оснований задач принятия решений, так как во многом предопределяет сложность этих задач. Она характеризуется полнотой и достоверностью переменных, характеризующих эти факторы и доступных для использования при принятии решений. Один из вариантов классификации факторов изложен в четвертой главе, посвященной теории эффективности

сложных систем. Принципиальным моментом в нем является деление факторов на определенные и неопределенные факторы. Она нуждается в некотором уточнении.

Так, в классификации факторов их нестохастическая неопределенность указывается трех следующих видов: природная, поведенческая и целевая.

Природная неопределенность свойственна для так называемых игр с пассивной средой или «природой». Поведение пассивной среды часто характеризуется законами распределения вероятностей ее состояния. Моделирование процесса принятия решений в этом случае осуществляется методами теории статистических решений, которые являются естественным продолжением вероятностных методов описания специфических неопределенных ситуаций.

Поведенческая неопределенность присуща особой группе факторов, для которых характерно наличие активной внешней среды, которая проявляется в сознательном, целенаправленном поведении, определяемом наличием у нее собственной цели. В общем случае цели ЛПР и активной внешней среды могут не только отличаться друг от друга, но и быть прямо противоположными. В последнем случае наличествует конфликтная ситуация. Моделирование процессов принятия решений в этих условиях осуществляется методами теории игр.

Природная и поведенческая неопределенности могут быть описаны математическими зависимостями, т.е. задачи принятия решений при таких неопределенностях используются для обоснования решений по хорошо структурированным проблемам.

Целевая неопределенность для теории принятия решений не является актуальной. Это обусловливается тем, что определение цели является одним из важных начальных этапов системного анализа и выполняется в его рамках. Когда необходимо использовать методы теории принятия решений, данный этап уже выполнен.

Во 2-й главе были выделены слабоструктуризованные проблемы, для которых характерны определенность векторных показателей привлекательности альтернатив и неопределенность важности частных показателей. Это означает, что в рамках анализа таких проблем используются задачи принятия решений в условиях сочетания определенных и неопределенных факторов.

В сложных видах человеческой деятельности, прежде всего, в социально-гуманитарной и военной сферах, очень часто приходится принимать решения в условиях такой неопределенности,

которая не может быть учтена никакими формальными зависимостями. При этом каждая возможная альтернатива может привести к любому исходу из некоторого множества исходов, причем отсутствует даже информация о стохастической зависимости исходов от альтернатив. В таких случаях имеет место четвертый тип связи альтернатив и исходов, когда принятие решений происходит в условиях неопределенности. Принятию решений в условиях такой неопределенности характерна большая неполнота и недостоверность информации, многообразие и сложность влияния факторов. Эти обстоятельства не позволяют в настоящее время построить адекватные строгие математические модели для определения оптимального решения. Для описания неопределенных переменных и действий в таких условиях часто используются нечеткие множества и алгоритмы. Поэтому в них основную роль в поиске приемлемого или эффективного решения играет человек.

В соответствии с вышеизложенной характеристикой факторов, в зависимости от степени определенности информации о них, можно выделить следующие основные типы задач принятия решений:

- 1) задачи принятия решений в условиях определенности (детерминированные задачи);
- 2) задачи принятия решений в условиях стохастической неопределенности;
- 3) задачи принятия решений в условиях природной неопределенности;
- 4) задачи принятия решений в условиях поведенческой неопределенности (задачи в условиях активной внешней среды и конфликтных ситуаций);
- 5) задачи принятия решений в условиях сочетания определенности и неопределенности;
- 6) задачи принятия решений в условиях неопределенности.

Задачи 2-го и 3-го типов еще называются задачами в условиях риска, так как в них оперируют со случайными переменными.

2. Очень важным классификационным признаком для задач принятия решений является количество критериев, по которым сравниваются альтернативы. Этот признак вместе со степенью определенности факторов в решающей мере влияет на сложность процессов и специфику методов, применяемые в задачах выбора.

Важность количества критериев для выделения типов задач выбора обуславливается тем, что любая проблема может быть де-

композирована в иерархию из трех уровней вида «цель — общий критерий — альтернативы» (об этом речь шла в п. 2.5). При этом общий критерий может состоять из одного критерия или включать некоторое множество частных критериев. В соответствии с этим признаком задачи принятия решений подразделяются на однокритериальные и задачи при многих критериях.

В первом случае решения оцениваются по единственному критерию, который характеризуется числовым показателем, представленным в виде скалярной функции, заданной на множестве возможных решений.

Во втором случае каждое решение оценивается по некоторому множеству частных критериев. При этом выбор лучшего гораздо сложнее, чем при использовании одного показателя, и обосновывается с помощью методов многокритериальной оптимизации.

В настоящее время многокритериальные задачи принятия решений по структуре критериев принято делить на задачи с неиерархическими и иерархическими критериями. Это обусловливается тем, что обычно под многокритериальными задачами понимались задачи, имеющие общий векторный критерий, который состоял из некоторого числа частных критериев. Для структуры векторного критерия, как уже отмечалось во второй главе, характерно то, что частные критерии могут быть зависимыми (чаще всего) или независимыми, иметь различные важности, но обязательно находиться на одном уровне, т.е. связи типа «подчинение-подчиненность» между ними отсутствуют.

При решении сложных проблем, например, в социально-гуманитарной и военной сферах, векторного критерия в многокритериальных задачах принятия решения зачастую недостаточно. Иерархичность проблем обусловила необходимость использования для оценки альтернатив иерархического общего критерия, в котором имеется несколько уровней частных критериев, находящихся в связях «подчинение-подчиненность». При рассмотрении во второй главе вопросов иерархического представления проблем было отмечено, что общий критерий может включать промежуточные уровни частных целей, акторов, их средств и способов действий, частных критериев и др. Для решения таких задач требуется применение специальных методов многокритериальной оптимизации, речь о которых будет вестись в 8-й и 9-й главах.

3. По типу используемой при выборе решения модели обычно выделяют задачи принятия решений с объективными и субъективными моделями [5, 9, 25, 31].

В первом случае объективная модель является средством отражения объективной информации и обеспечивает получение объективных данных, достаточных для выбора оптимального или оптимизации решения практически без участия ЛПР.

Однако часто неопределенность в задачах выбора является принципиальной. Она не может быть исключена даже в случае использования при обосновании решений по слабоструктуризованным проблемам для расчетов вектора частных количественных показателей альтернатив объективных моделей, так как присутствует неопределенность важности частных показателей. Тем более это касается неструктуризованных проблем. Люди, принимающие решения и несущие ответственность за их последствия, в таких ситуациях оказываются единственным источником информации, позволяющим оценить варианты решений и выбрать из них лучший вариант. Использование системы предпочтений ЛПР становится принципиальным моментом в процессе формирования решений. В этом случае субъективная информация ЛПР представляется как единственно возможная основа объединения параметров рассматриваемой проблемы в единую модель, позволяющую оценить варианты решений. Следовательно, модель зависит от личности ЛПР, т.е. является с этой точки зрения субъективной. Однако определенная степень субъективности предпочтений ЛПР не означает произвола в выборе решений, так как предпочтения ЛПР находятся в рамках определенной рациональной системы, опирающейся на закономерности объективного мира [11, 25, 31].

Субъективность и невозможность формализации системы предпочтений ЛПР для слабоструктуризованных проблем, принципиальная невозможность описания формальными средствами процесса выбора решений по неструктуризованным проблемам явились основанием, в соответствии с которым модели задач принятия решений для этих проблем считаются субъективными.

Однако, на наш взгляд, такая классификация задач принятия решений по виду используемых моделей не в полной мере соответствует действительному положению дел и имеет негативный методологический аспект, что предопределяет необходимость уточнения классификации, некоторой ее детализации. Это обусловливается следующими обстоятельствами.

Во-первых, тем, что объединение всего многообразия задач принятия решений, для которых значительную роль играют предпочтения ЛПР, под один типаж задач с субъективными моде-

лями не совсем соответствует реальному положению дел. Ведь понимание модели как чисто субъективной дословно можно понимать, как возможность для ЛПР проявлять свои предпочтения при выборе решений практически без ограничений. В то время как при принятии решений по слабоструктуризованным проблемам сочетаются объективные и субъективные факторы: количественные показатели альтернатив, определенные с помощью объективных моделей, и субъективная система предпочтений ЛПР, на формирование и применение которой значительное влияние оказывают объективные факторы. Кроме того, даже при невозможности использования объективных моделей для определения количественных показателей альтернатив для многих проблем значительную роль играют объективные факторы, которые влияют на выбор ЛПР лучшей альтернативы.

Во-вторых, необходимостью в настоящее время на различных уровнях управления в различных сферах деятельности обоснования решений с применением системного анализа и методов теории принятия решений при четком понимании возможных или допустимых пределов проявления субъективного фактора. Особенно с учетом живучих славянских традиций пресловутого волюнтаризма, который внес немалую лепту и в развал бывшего СССР. Достаточно вспомнить решения об освоении целинных и залежных земель, строительстве БАМ, кампании по борьбе с пьянством и алкоголизмом, истощающим страну по всем направлениям военных бюджетах, наконец, о проведении пресловутой «горбачевской» перестройки, начатой без каких-либо обоснований. Партия и правительство с завидным постоянством принимали и реализовали, как правило, решения, которые наносили удары по экономике, бюджету и другим сферам, в комплексе с другими недальновидными решениями привели к развалу страны и бедствиям десятков миллионов людей.

В п. 2.2 при рассмотрении вопросов классификации проблем были изложены аргументы, которые позволяют расширить типаж задач выбора по признаку используемых в них моделей. При этом принципиально важным является рассмотрение системно-аналитической процедуры как модели обоснования решения, которая включает модель проблемной ситуации и модель задачи выбора из альтернатив. Об этом речь шла и вначале данной главы. Причем, такой подход актуален и для операционного исследования, являющегося по сути, как отмечалось в п. 2.4, системно-аналитической процедурой для хорошо структуризованных проблем. В табл. 5.1 приведены виды моделей, которые используются при моделировании проблемных ситуаций, задач принятия



решений и процесса обоснования решения в целом для различных типов проблем.

Таблица 5.1

**Виды моделей, используемых в процессах обоснования решений**

Тип проблемы	Модель проблемной ситуации	Модель задачи принятий решений	Модель обоснования решения
Хорошо структуризованная	Объективная	Объективная	Объективная
Слабоструктуризованная	Объективная	Субъективно-объективированная	Субъективно-объективированная
Неструктуризованная коллективная (организации)	Субъективно-объективированная	Субъективно-объективированная	Субъективно-объективированная
Неструктуризованная индивидуальная	Субъективно-объективированная	Субъективная	Субъективная

Виды моделей обоснования решений в целом были охарактеризованы в п. 2.2. Объективность моделей проблемных ситуаций для хорошо структуризованных и слабоструктуризованных проблем неоднократно уже аргументировалась выше, в том числе во 2-й главе. Использование субъективно-объективированных моделей проблемных ситуаций для неструктуризованных проблем также уже аргументировалась: модели строятся как субъективное отражение объективно существующих проблемных ситуаций. Ниже основное внимание будет уделено краткой характеристике типов задач принятия решений.

В табл. 5.1 по виду используемых моделей выделено три типа задач принятия решений:

- ✓ задачи принятия решений с объективными моделями;
- ✓ задачи принятия решений с субъективно-объективированными моделями;
- ✓ задачи принятия решений с субъективными моделями.

К задачам принятия решений с объективными моделями относятся задачи однокритериального выбора в условиях определенности, стохастической, природной и поведенческой неопределенности, которые используются в процедурах исследования операций для хорошо структуризованных проблем.

Субъективно-объективированные модели характерны, прежде всего, для многокритериальных векторных задач выбора в условиях сочетания определенных и неопределенных факторов. При этом векторные показатели для альтернатив определяются по объективным моделям, а важность этих показателей – на основе учета субъективной системы предпочтений ЛПР. Задачи выбора с субъективно-объективированными моделями используются в рамках системного анализа для решения множества слабоструктурированных проблем, для обоснования решений по которым важен учет объективных факторов. Использование объективных моделей для определения количественных показателей привлекательности альтернатив значительно облегчает работу ЛПР. Кроме того, широкое распространение для решения таких задач выбора получили человеко-машинные процедуры, позволяющие ЛПР выбирать лучшую альтернативу в интерактивном режиме общения с ЭВМ, из числа выделенных специалистами-аналитиками оптимальных по Э–П вариантов. В таких процедурах предпочтения ЛПР априори формализованы в виде функции полезности. Все это позволяет ему принимать решения, как правило, значительно лучшие оптимальных по Э–П решений. Особенности человеко-машинных процедур будут рассмотрены в седьмой главе. Высокая степень обеспеченности объективной информацией о качестве альтернатив, значительная методическая оснащенность, итеративность процесса выбора и возможность обучения ЛПР дают основания для квалификации таких моделей принятия решений именно как субъективно-объективированных.

Особую сложность представляет задача выбора лучших альтернатив при обосновании решений по очень сложным неструктурированным проблемам. К проблемам этого типа относятся многие управленческие проблемы, касающиеся интересов организаций. Они настолько сложны, что в процессе обоснования решения участвуют не только специалисты-аналитики, но и группы экспертов. В восьмой главе будут кратко охарактеризованы подходы к решению задач выбора альтернатив по многим критериям в условиях неопределенности. К наиболее известным из них относятся многокритериальная теория полезности и аналитическая иерархия. При использовании многокритериальной теории полезности специалистами строится с применением аксиоматического аппарата и с учетом системы предпочтений ЛПР функция полезности. В методе анализа иерархий, который будет рассматриваться в девятой главе, в построении модели проблемной ситуации и в разработке предпочтений участвует группа экспертов. По результатам их работы определяются числовые скалярные показатели привле-

кательности альтернатив, на основе которых ЛПР выбирает лучшую, по его мнению, альтернативу. Это дает основания утверждать, что в таких задачах принятия решений система предпочтений ЛПР объективируется участием специалистов-аналитиков и экспертов в процессе выбора лучших альтернатив. Следовательно, можно считать, что при обосновании решений по очень сложным неструктурированным проблемам используются задачи принятия решений также с субъективно-объективированными моделями.

Задачами принятия решений с чисто субъективными моделями целесообразно считать только такие задачи, в которых решающую роль играет система предпочтений ЛПР. При этом объективные факторы существуют и, несомненно, учитываются. Однако они являются второстепенными, ЛПР может в полной мере дать волю своим пристрастиям, вкусам, желаниям, наклонностям и пр., действуя при принятии решения по принципу: «что хочу, то и ворочу». Это означает, что система предпочтений ЛПР субъективна как по форме – носителем и выразителем ее является субъект, так и по содержанию – она включает только личные предпочтения субъекта. К таким задачам относятся задачи индивидуального выбора, решаемые в рамках обоснования решений по некоторому множеству, прежде всего, неструктурированных проблем. Примерами подобных проблем являются проблемы покупки чего-нибудь дорогостоящего (автомобиля, дома, квартиры, дачи и т.д.), выбора места проведения отпуска, страны для туристической поездки, места работы или учебы. Эти проблемы, как правило, связаны с удовлетворением личных потребностей отдельных индивидов или небольших групп людей, тесно связанных общими интересами. Ошибиться при выборе решения по таким проблемам ЛПР может только в том случае, когда каким-либо образом он получил недостаточно определенные данные об альтернативах и выберет из них ту, которая не в полной мере соответствует его предпочтениям. В случае отрицательных последствий неудачного выбора пострадавшей стороной будет только ЛПР как жертва своих предпочтений.

4. По признаку, учитывающему степень проявления фактора времени, задачи принятия решений делятся на динамические и статические [5, 9, 11]. В динамических задачах их характеристики, в том числе альтернатив, зависят от времени, а в статических – не зависят. При этом имеется в виду не абсолютная, а относительная зависимость характеристик от времени. В динамических задачах выбора характеристики существенно изменяются в течение самого цикла принятия решения, а в статических – они за время данного цикла практически не изменяются.

Динамические задачи — это, как правило, задачи управления некоторыми динамическими объектами. Считается, что они сложнее статических задач. Решением задачи является выработанное управляющее воздействие на динамический объект, изменяющее его состояние требуемым образом. В качестве множества допустимых альтернатив используется множество допустимых управлений. Каждому управлению ставится в соответствие определенный показатель качества управления. В ограничения задачи включаются как ограничения на управления, так и ограничения на состояние управляемого объекта. Каждому варианту управления соответствует определенное значение показателя его качества, и задача управления заключается в том, чтобы найти и реализовать такой вариант управления, при котором значение показателя качества оптимизируется, и выполняются ограничения, определяемые конкретными условиями управления.

В статических задачах принятия решений используются дискретные значения переменных, решения в них также являются дискретными. В динамических задачах используются непрерывные переменные. Решения в них также являются непрерывными. Нередко задачи с непрерывными переменными и решениями сводятся к статическим дискретным задачам.

Большинство задач принятия решения, с которыми приходится иметь дело исследователям и практикам в социально-гуманитарной и в военной сферах, являются статическими с дискретными переменными и решениями. В связи с этим в дальнейшем изложении будут рассматриваться методы выбора из альтернатив именно для таких задач, которые далеко не всегда проще, а часто — и сложнее, динамических задач.

5. По признаку количества лиц, принимающих решения, как уже отмечалось в первой главе, задачи разделяются на задачи индивидуального и группового (коллективного) выбора [5, 9, 25]. Индивидуальные решения принимаются одним лицом, а групповые — коллективным органом. Под групповым выбором понимают процедуру принятия коллективного решения на основе согласования индивидуальных предпочтений членов группы. Это согласование производится в соответствии с принципом группового выбора, который определяет правило согласования предпочтений и выбора эффективного или оптимального решения. Наиболее многочисленны и значимы задачи индивидуального выбора. Им в дальнейшем и будет уделено основное внимание.

Рассмотренная классификация задач принятия решений по пяти признакам приводит к различным комбинациям типов задач. Тип задачи принятия решений определяет выбор необходимого

способа технологии принятия решений. Поэтому при проведении исследований крайне важно правильно установить тип задачи принятия решения, которую придется подвергать анализу и синтезу. Самыми важными признаками, в решающей степени определяющие тип задач принятия решений, являются первые два — степень определенности факторов и количество критериев, используемых для сравнения альтернатив. В этой связи основными типами задач принятия решений, с которыми приходится иметь дело в настоящее время исследователям, являются следующие задачи:

1) однокритериальные задачи принятия решений в условиях определенности;

2) однокритериальные задачи принятия решений в условиях стохастической неопределенности;

3) задачи принятия решений в условиях природной неопределенности;

4) задачи принятия решений в условиях поведенческой неопределенности (в условиях активной внешней среды и конфликтных ситуаций);

5) задачи принятия решений при многих критериях в условиях определенности (в условиях сочетания определенности и неопределенности, задачи с субъективно-объективированными моделями);

6) задачи принятия решений при многих критериях в условиях неопределенности (с субъективно-объективированными и с субъективными моделями).

Использование указанных задач в рамках операционных исследований и системного анализа позволяет обосновывать решения большинства проблем самого различного характера.

Для выбора решений по одному критерию в условиях определенности, стохастической, природной и поведенческой неопределенности применяются, как уже отмечалось во второй главе, методы исследования операций. Они наиболее полно проработаны, по ним имеется достаточно много источников. Все эти четыре типа задач относятся к задачам принятия решений с объективными моделями.

В настоящее время подавляющее число проблем, с которыми приходится сталкиваться исследователям, особенно, в социально-гуманитарных и военных сферах, решаются, как правило, по многим критериям. Поэтому в данной работе методы обоснования решений для задач первых четырех типов будут только кратко охарактеризованы, прежде всего, с точки зрения условий их применения; более подробно будут рассмотрены методы обоснования решений при многих критериях.

## Глава 6. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА РЕШЕНИЙ ПО ОДНОМУ КРИТЕРИЮ В УСЛОВИЯХ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ, СТОХАСТИЧЕСКОЙ, ПРИРОДНОЙ И ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

### 6.1. Методологические аспекты выбора решений по одному критерию в условиях определенности

Постановка задачи выбора решения по одному критерию (скалярному количественному показателю) в условиях определенности в самом общем виде может быть представлена следующим логическим высказыванием

$$\langle A_0, F_0, K_0; a_0^* \in A_0 \rangle, \quad (6.1)$$

где  $A_0$  — множество всех альтернатив, которые подвергаются анализу с использованием критерия оптимальности;  $F_0$  — количественный скалярный показатель, характеризующий привлекательность или качество альтернатив в условиях определенности;  $K_0$  — критерий оптимальности для условий определенности;  $a_0^*$  — выделенная с помощью критерия  $K_0$  оптимальная альтернатива.

Логическое высказывание (6.1) означает, что из множества альтернатив  $A_0$  по значениям скалярного показателя качества альтернатив  $F_0$ , определяемых с помощью объективной модели, применением критерия оптимальности  $K_0$  выделяется, как правило, одна оптимальная альтернатива  $a_0^*$ .

Определенность означает то, что значения показателя находятся в математической зависимости от альтернатив и факторов среды, а предпочтения ЛПР на выделение наилучшей альтернативы формализуются в критерии оптимальности. В силу этого из множества альтернатив можно выделить одну оптимальную альтернативу  $a_0^*$  ( $a_0^* \in A_0$ ).

Более того, альтернативы могут быть формализованы и представлены набором  $X$  количественных переменных  $X_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ). Показатель в полной мере отражает цель операции по выбору решения, поэтому функция  $F(x)$ , по которой он определяется, называется целевой. Требования системы предпочтений ЛПР, кроме использования критерия оптимальности, проявляются в том, что лицо, принимающее решение, должно убедиться (самостоятельно или с помощью специалистов-аналитиков, экспертов) в корректной формализации всех компонентов проблемы и правильности ограничений на область изменения переменных, которые в таких задачах всегда существуют. Это обуславливается тем, что в задачах выбора с объективными моделями, как уже отмечалось в первой главе, находится оптимальная альтернатива с точностью до предпосылок и допущений использованных методов ее определения.

В этих условиях задача выбора представляется как задача определения оптимального набора переменных  $X_0^*$  [9, 31]

$$X_0^* : \text{extr } F(x) \quad (6.2)$$

при некоторых ограничениях в виде неравенств и равенств на область изменения переменных

$$\begin{aligned} q_l(x) &\leq 0, l = \overline{1, l_0}; \\ h_k(x) &= 0, k = \overline{1, k_0}; \end{aligned} \quad (6.3)$$

где  $\text{extr}$  — экстремум (максимум (минимум), если значение целевой функции надо максимизировать (минимизировать), представляющий в сочетании с конкретным методом нахождения экстремума целевой функции критерий оптимальности.

При решении таких оптимизационных задач ориентируются, как правило, на использование методов глобальной оптимизации, которые позволяют решать задачи безусловной (допустимая область переменных — все  $n$ -мерное пространство) и условной (допустимая область переменных ограничена равенствами и (или) неравенствами) оптимизации. Методы глобальной оптимизации строятся с использованием классических аналитических методов или, если это невозможно, как последовательность методов локальной оптимизации.

Конкретные методы решения рассматриваемой задачи оптимального выбора зависят от сложности и статичности или динамичности ее компонентов  $X$ ,  $q(x)$  и  $h(x)$ . Рассмотрим вначале методы решения статических задач.

Если переменных немного, а целевая функция и ограничения аналитические, то, как правило, решение может быть получено классическими аналитическими методами (методами решения нелинейных уравнений и их систем: методом Лагранжа, методом

исключения, «алгоритмическим методом» и др.). При количестве переменных не более 2–3 может использоваться графический метод. В более сложных случаях, когда для получения даже одного измерения целевой функции сопряжено со значительными затратами ресурсов, применяются методы вариантного анализа. Эти методы включают серию чередующихся этапов формального и неформального характера, позволяющих сузить множество вариантов и выбрать оптимальное решение.

Если размерность целевой функции высока, присутствует большое число уравнений и ограничений сложного вида, то для нахождения оптимального решения используются численные методы локальной оптимизации, которые требуют применения ЭВМ и специального математического обеспечения. Из этих методов наиболее широко известны и применяются процедуры и алгоритмы математического программирования, которые классифицируются по виду целевой функции и области допустимых решений (значений переменных), статичности или динамичности элементов задачи и другим основаниям [22, 27, 29].

Если целевая функция и ограничения линейны, то задача называется задачей линейного программирования, в противном случае — задачей нелинейного программирования. Различают несколько видов нелинейного программирования, например, выпуклое, квадратическое, геометрическое, сепарабельное и др. Важным и сложным разделом математического программирования является дискретное, в том числе целочисленное программирование. В зависимости от структуры допустимой области решений задачи программирования могут быть дискретными и непрерывными, одномерными и многомерными.

Наиболее известными детерминированными задачами с дискретными значениями переменных и решений являются коммивояжера, о минимальном покрытии графа, минимаксная задача о назначениях [45]. Для их решения часто используются алгоритм Гомори, метод сетей и границ, динамическое программирование, эвристические алгоритмы, методы случайного поиска и др., а в последнее время — алгоритмы отжига, генетические алгоритмы и нейронные сети [45].

Для решения однокритериальных динамических задач оптимального выбора в условиях определенности в настоящее время применяются различные методы. Например, наиболее известны следующие основные классы методов условной оптимизации [31]:

✓ прямые методы, основанные на сведениях динамической задачи с непрерывным временем к статической задаче с дискретным временем, которая решается рассмотренными ранее методами



математического, как правило, нелинейного программирования; при применении прямых методов усложняется процесс решения задач из-за повышения их размерности и возникновения определенных трудностей в машинной реализации;

- ✓ классические методы (вариационное исчисление);
- ✓ методы, базирующиеся на динамическом программировании

Р. Беллмана;

- ✓ методы сетевого планирования и управления;
- ✓ методы, основанные на использовании принципа максимума

Понтрягина и др.

Однако, как уже отмечалось, в данной работе будут рассматриваться только статические задачи принятия решений с дискретными переменными и решениями.

## **6.2. Методологические аспекты выбора решений по одному критерию в условиях стохастической, природной и поведенческой неопределенности**

Задачи принятия решений по одному критерию в условиях стохастической, природной и поведенческой неопределенности в данном параграфе будут кратко охарактеризованы в порядке их упоминания.

1. Общая постановка задачи принятия решения по одному критерию в условиях стохастической неопределенности соответствует логическому высказыванию (6.1), но с учетом того, что переменные описываются с помощью вероятностных характеристик. Сами вероятностные характеристики являются уже не случайными, поэтому с ними можно производить, как правило, операции по нахождению оптимальных решений, но в условиях риска. Поэтому критерий оптимальности в таких задачах является критерием оптимальности в условиях риска.

Для статических задач в условиях стохастической неопределенности характерны ряд ситуаций, обладающих той или иной степенью неопределенности и требующих применения специфических вероятностно-статистических методов для выбора решений [22, 23, 40]. Исторически первыми методами были методы теории вероятностей, относительно новым среди которых является стохастическое программирование. На теории вероятности и теории случайных процессов основываются методы теории массового обслуживания, использующиеся при анализе и синтезе обслуживающих систем. Для решения динамических задач выбора в условиях стохастической неопределенности разработан ряд динами-

ческих моделей неоднородных задач принятия решений [40]. В их число входят и марковские модели принятия решений.

Наиболее известными типами задач принятия решений в условиях стохастической неопределенности являются задачи управления запасами, управления марковскими процессами, анализа и синтеза систем массового обслуживания [45] и др.

2. Естественное и важное продолжение вероятностных методов решения статических задач составляют методы теории статических решений. Эта теория позволяет решать особый класс многочисленных задач по выбору оптимальных решений в условиях риска при играх с пассивной средой или «природой», которая не противодействует сознательно, но ее состояние может существенно повлиять на исход проводимой ЛПР операции. Постановка задачи выбора в этих условиях может быть представлена следующим высказыванием

$$\langle \Theta_n, A_n, F_n, K_{\text{оп}}, a_{\text{оп}}^* \in A_n \rangle, \quad (6.4)$$

где  $\Theta_n$  — множество состояний пассивной природы;  $A_n$  — множество всех альтернатив, подвергающихся анализу;  $F_n$  — множество показателей качества альтернатив в условиях природной неопределенности;  $K_{\text{оп}}$  — критерий оптимальности альтернатив для этих условий;  $a_{\text{оп}}^*$  — оптимальная альтернатива, выделенная в результате анализа.

В таких задачах множество  $\Theta_n$  часто представляется конкретными возможными состояниями среды  $\Theta_{nj} \in \Theta_n$  ( $j = \overline{1, L}$ ), которые характеризуются законами распределения вероятностей. Для каждого состояния среды и каждой альтернативы  $A_{nk}$  ( $A_{nk} \in A_n$ ,  $k = \overline{1, M}$ ) рассчитываются показатели  $f_{jk} = f(\Theta_{nj}, A_{nk})$ . Они образуют матрицу размером  $L \times M$  (табл. 6.1), элементы которой  $f_{jk}$  представляют собой показатели привлекательности  $k$ -й альтернативы для  $j$ -го состояния среды.

Таблица 6.1

**Матрица показателей привлекательности альтернатив**

	$A_{n1}$	...	$A_{nk}$	...	$A_{nM}$
$\Theta_{n1}$	$f_{11}$	...	$f_{1k}$	...	$f_{1M}$
...	...	...	...	...	...
$\Theta_{nj}$	$f_{j1}$	...	$f_{jk}$	...	$f_{jM}$
...	...	...	...	...	...
$\Theta_{nL}$	$f_{L1}$	...	$f_{Lk}$	...	$f_{LM}$

Для выделения оптимального решения по этой матрице используются критерии оптимальности в условиях риска, которые зависят от конкретной информационной ситуации в задаче [40]. Ряд критериев оптимальности основывается на использовании показателей полезности, выигрыша, эффективности, вероятностей достижения целей и т.п. (их надо максимизировать). Другие учитывают потери, проигрыш, сожаления, ущерб, риск и т.д., которые необходимо минимизировать. Третьи сочетают в себе первые и вторые. Некоторые из этих критериев указаны в п. 2.6. При этом для одной информационной ситуации может быть несколько критериев оптимальности, отличающихся друг от друга допустимой степенью риска.

В методологическом плане для подобных задач следует отметить роль системы предпочтений ЛПР в формировании множества состояний среды и решений, а также в выборе показателей качества альтернатив и используемого критерия (критериев) оптимальности. В выборе критериев оптимальности существенную помощь ему оказывают специалисты-аналитики, которые изучают склонность ЛПР к риску и рекомендуют соответствующие критерии. Из этого следует вывод, что роль ЛПР при выделении лучших альтернатив в условиях природной неопределенности значимей, чем при обосновании решений в условиях определенности.

3. Особый и довольно многочисленный класс составляют задачи выбора альтернатив в условиях поведенческой неопределенности, которая порождается активной внешней средой. Дело в том, что во многих областях человеческой деятельности, особенно экономической, финансовой и военной, приходится рассматривать проблему принятия решений в условиях неопределенности особого рода, когда имеется активная внешняя среда и конфликтная ситуация. Под конфликтной ситуацией понимается такая ситуация, в которой сталкиваются интересы двух и более сторон, преследующих разные цели. Причем результат любого действия каждой из сторон зависит от того, какой образ действий выберут другие стороны. Поскольку в конфликтных ситуациях каждая сторона, как правило, не располагает достаточными сведениями о том, что задумала другая сторона, решение принимается в условиях неопределенности. Конфликт не всегда предполагает наличие антагонистических противоречий сторон, но всегда связан с определенным рода разногласиями. Конфликтная ситуация будет антагонистической, если цели действий сторон прямо противоположны. Увеличение выигрыша одной из сторон всегда приводит к уменьшению выигрыша другой стороны, и наоборот.

Выработкой рекомендаций по рациональному образу действий участников многократно повторяющегося конфликта занимается

математическая теория конфликтных ситуаций — теория игр с выигрышами. Предметом ее исследования являются методы принятия решений в конфликтных ситуациях. Теория игр — это теория математического моделирования конфликтных ситуаций. Игра в этой теории представляется как упрощенная модель реальной конфликтной ситуации. Формализация конфликтных ситуаций заключается в том, что действия сторон считаются подчиненными определенным правилам, которые называются правилами игры. Эти правила определяют возможные варианты действий, которые в теории игр называются стратегиями сторон. Различным классам конфликтных ситуаций соответствуют свои методы моделирования.

Наиболее полно разработана теория и методы решения такого класса игр, как матричные игры, относящиеся к разряду антагонистических игр. В таких играх участвуют два игрока. Принцип оптимальности поведения игроков основывается на равновесной ситуации, в нарушение которой не выгодно ни одному из игроков. Если равновесная ситуация соответствует только одной стратегии каждого из игроков, то такая ситуация называется седловой точкой, соответствующие ей оптимальные стратегии игроков — чистыми, а выигрыши игроков — ценой игры. Общая постановка задачи выбора в матричной антагонистической игре с седловой точкой выражается следующим логическим высказыванием

$$\langle B_a, A_a, F_a, K_{oa}; a_{oa}^* \in A_a \rangle, \quad (6.5)$$

где  $B_a$  — множество стратегий активной внешней среды;  $A_a$  — множество стратегий игрока;  $F_a$  — множество показателей привлекательности альтернатив;  $K_{oa}$  — критерий оптимальности;  $a_{oa}^*$  — оптимальная альтернатива (чистая стратегия) игрока, выделенная с помощью критерия  $K_{oa}$ .

Высказывание (6.5) означает, что с учетом стратегий  $B_a$  активной внешней среды из множества стратегий игрока  $A_a$  по показателям привлекательности альтернатив  $F_a$  и критерию оптимальности  $K_{oa}$  необходимо выделить оптимальную стратегию  $a_{oa}^*$ .

Применительно к постановке задачи выбора (6.5) в условиях поведенческой неопределенности множества  $B_a$  и  $A_a$  представляют соответственно множества стратегий противодействующей и своей стороны. Как и в игре с «природой», выбираются показатели привлекательности альтернатив, и строится платежная матрица (матрица игры). Применение одного из методов решения матричной игры (их имеется несколько) и использование критериев оптимальности позволяет выделять оптимальные, с точностью до ограничений и допущений теории игр, альтернативы. Критерии

оптимальности основываются на использовании принципа максимина для своей стороны и принципа минимакса — для противодействующей.

Более типичными матричными играми, чем игры с седловой точкой, являются игры, решение которых включает цену игры и оптимальные смешанные стратегии. Смешанные стратегии задаются конкретными стратегиями игрока с указанием вероятностей их использования в ходе игры.

При использовании теории матричных игр необходимо учитывать, прежде всего, статистическую устойчивость рекомендаций по выбору оптимальных стратегий, т.е. их справедливость для многократно повторяющихся игр. В то же время, часто встречаются игры одноразовые или повторяющиеся небольшое количество раз. Для них выделенные с помощью игровых методов чистые или смешанные стратегии являются очень осторожными, ориентированными на самые разумные действия противодействующей стороны и минимизацию риска своей стороны. Кроме того, рекомендованные смешанные стратегии бывает сложно использовать, например, по той причине, что надо применить только одну альтернативу. В силу этого чистые или смешанные стратегии для не многократно повторяющихся игр не являются ни оптимальными, ни, как правило, эффективными. Вместе с тем, и для не многократно повторяющихся игр полезно построение и решение игровых матриц. Анализ этих матриц позволит повысить степень обоснованности принимаемых решений. Например, для определения рациональной своей стратегии и способов дезинформации и демонстративных действий для провоцирования противодействующей стороны на выгодный для своей стороны способ действий с оценкой степени риска.

В настоящее время разработана теория и методы решения и других, кроме матричных, классов игр. Например, позиционных, биматричных (у двух игроков свои платежные матрицы), бесконечных игр, в том числе дифференциальных, коалиционных или кооперативных игр (со многими участниками). В этой связи методологический интерес представляет собой классификация игр по различным основаниям [46]: количеству стратегий в распоряжении игроков; количеству игроков и особенностям их поведения в играх; характеру получаемой игроками информации; по свойствам платежной функции.

Так, по количеству стратегий у игроков выделяются конечные и бесконечные игры.

По количеству участников различают игры с двумя и  $N$  участниками. По особенностям поведения игроков игры разделя-

ют на бескоалиционные (каждый игрок преследует свои интересы), коалиционные (участники образуют коалиции — множество игроков, действующих совместно), кооперативные бескоалиционные (участники в процессе игры эпизодически принимают совместные решения или образуют временные коалиции с последующим делением выигрышей).

По характеру получаемой игроками информации принято выделять игры в нормальной форме (участники имеют всю информацию до начала игры) и динамические игры (участники получают информацию в процессе игры).

По свойствам платежной матрицы игры делятся на антагонистические (с нулевой суммой, когда суммарный выигрыш равен нулю, и наличием конфликта) и игры с ненулевой суммой (игры с постоянной разностью, когда возможны случаи одновременного выигрыша или проигрыша игроков, что обуславливает возможность их объединения в коалиции).

Разрабатывается теория игр с предпочтениями, которая включает в себя и теорию игр с выигрышами [39]. В играх с предпочтениями вместо прямых численных оценок ситуаций указывается их сравнительная предпочтительность для игроков.

Математическое моделирование конфликтных ситуаций, как и любых других процессов, невозможно без их схематизации, некоторого упрощения, т.е. принятия ряда допущений и ограничений. Поэтому на этапе постановки задачи принятия решения увидеть в реальном процессе черты конфликтной ситуации, выделить особенности процесса, которые позволят в дальнейшем отнести конфликтную ситуацию к тому или иному классу игр, выбрать метод моделирования и определить, позволят ли допущения и ограничения данного метода теории игр достичь заданной цели моделирования.

При применении методов теории игр значимость системы предпочтений ЛПР больше по сравнению с ее значимостью при использовании методов теории статистических решений. Так, важная роль ЛПР при формировании стратегий сторон, выборе показателей качества альтернатив и критериев оптимальности сохраняется. Для не многократно повторяющихся матричных игр, например, дополнительно может возникнуть необходимость выделения ЛПР лучшей альтернативы не с точки зрения модели игры (осторожная стратегия при минимизации риска), а такой стратегии, которая позволила бы получить больший, по сравнению с осторожной стратегией, выигрыш на основе приемлемого риска. При этом должны выбираться способы не только введения противоборствующей стороны в заблуждение относительно своего варианта действий,

но и, как уже отмечалось выше, провоцирования противоположной стороны на применение выгодной для своей стороны стратегии.

В заключение необходимо привести некоторые данные об использовании методов исследования операций в задачах управления и принятия решений 125 крупнейшими корпорациями США. Частота использования этих подходов и методов приведена в табл. 6.2 [29].

Таблица 6.2

**Частота использования методов исследования операций  
в задачах управления корпораций США**

Метод, модель	Частота использования, %		
	Редко	Умеренно	Постоянно
Имитационное моделирование	13	53	34
Сетевое планирование	26	53	21
Линейное программирование	26	60	14
Теория очередей	40	50	10
Нелинейное программирование	53	39	8
Динамическое программирование	61	34	5
Теория игр	69	27	4

Данные табл. 6.2 в особых комментариях не нуждаются, так как подходы и методы в ней указаны в порядке уменьшения частоты их использования. За исключением одного существенного обстоятельства: необходимо иметь в виду, что частота использования не в полной мере характеризует относительную значимость методов исследования операций в их общем арсенале. Ведь значимость методов в значительной мере зависит и от уровня и важности управленческих решений и планов, для обоснования которых они используются.

Таковы самые общие методологические положения по обоснованию решений по одному критерию в условиях определенности, стохастической, природной и поведенческой неопределенности.

Как отмечалось в предыдущей главе, для социально-гуманитарной и военной сфер деятельности более характерны задачи принятия решений по многим критериям. При этом одними из основных среди них являются задачи принятия решений по многим критериям в условиях определенности и неструктурированной неопределенности. Основные методологические положения по решению этих задач будут рассмотрены соответственно в седьмой и восьмой главах.

## **Глава 7. ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ МНОГИХ КРИТЕРИЯХ В УСЛОВИЯХ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

### **7.1. Особенности задач принятия решений при многих критериях в условиях определенности**

Задачи выбора решения при многих критериях в условиях определенности представляют собой задачи выбора из допустимых альтернатив, сформированных на начальных этапах системного анализа, по векторным количественным показателям, которые рассчитаны с помощью объективных моделей. Как отмечалось в п. 5.3, оптимальные варианты решения в таких задачах определить нельзя. Сложность нахождения оптимальной альтернативы обусловлена тем, что один вариант решения может превосходить другой по ряду частных показателей и уступать по остальным. При таких условиях сказать, какой вариант решения объективно лучше другого не представляется возможным. Характерен также тот факт, что отсутствует объективный критерий оптимальности, так как он просто не существует. Вместо него с учетом субъективной информации о системе предпочтений ЛПР, прежде всего, о важности частных критериев можно сформировать только решающее правило оптимизации.

Следовательно, для задач выбора решений по векторному критерию характерно сочетание множества альтернатив (наборов переменных) и векторных показателей, учитываемых объективной моделью, и пространства важности частных показателей и формируемых решающих правил оптимизации, учитывающих информацию о субъективной системе предпочтений ЛПР и основанных на компромиссе между значениями и важностью частных показателей [9, 25, 31].

Таким образом, для решения задачи выбора по векторному количественному показателю в условиях определенности достаточно сформировать и применить решающее правило оптимизации. Для формирования решающего правила оптимизации используется,



как было отмечено выше, информация о системе предпочтений ЛПР и особенностях решаемой задачи. При этом информация о предпочтениях ЛПР является основной и во многом определяет способ формирования правила. В зависимости от способа формирования решающего правила, все методы многокритериального выбора условно делятся на две группы: эвристические и аксиоматические методы [9, 31]. Для углубленного понимания сути этих методов необходимо рассмотреть ретроспективный аспект их появления, становления и последующего развития.

Наличие хорошо обоснованных методов обоснования решений по скалярному количественному показателю с объективными моделями обусловило вначале естественное стремление попытаться свести задачу выбора по векторному критерию к задаче однокритериального выбора. В результате сформировалась группа эвристических методов. В этих методах ЛПР сразу выбирает вид свертки (агрегирования) векторного показателя привлекательности альтернатив в некоторый обобщенный скалярный показатель, который затем оптимизируется с помощью методов однокритериальной оптимизации [9, 22, 31]. При этом постановка задачи выбора характеризуется следующим логическим высказыванием:

$$\langle F_0^{(m)}, P_{св}; \varphi(F_0^{(m)}), A_{ов}, K_0; a_{ов}^* \in A_{ов} \rangle, \quad (7.1)$$

где  $F_0^{(m)}$  — векторный количественный показатель привлекательности или качества альтернатив, определяемый с использованием объективной модели и состоящий из частных показателей  $F_{oi}$ ,  $i = \overline{1, m}$ ;  $P_{св}$  — система предпочтений ЛПР, на основе которой выбран вид свертки векторного показателя  $F_0^{(m)}$  в скалярный показатель  $\varphi(F_0^{(m)})$ ;  $A_{ов}$  — множество допустимых альтернатив, сформированных на предыдущих этапах системного анализа;  $a_{ов}^*$  — лучшая альтернатива, выделенная из множества на основе применения критерия оптимальности  $K_0$ .

Данное логическое высказывание означает, что сначала с учетом системы предпочтений ЛПР  $P_{св}$  выбирается вид свертки векторного показателя  $F_0^{(m)}$  в скалярный показатель  $\varphi(F_0^{(m)})$ . Затем из множества допустимых альтернатив  $A_{ов}$  применением критерия оптимальности для условий определенности  $K_0$  выделяется, как правило, одна лучшая альтернатива  $a_{ов}^*$ . Принципиальным здесь является выделение не оптимальной, а лучшей альтернативы, несмотря на применение критерия оптимальности  $K_0$  и методов однокритериальной оптимизации, которые для хорошо структурированных проблем позволяют находить оптимальные

альтернативы. Это обуславливается определенной степенью произвола при свертке векторного показателя в скалярный показатель, что не позволяет вести речь об оптимальности выделяемой альтернативы.

Однако применение эвристических методов, в определенной степени устранив проблему выделения лучших альтернатив по многим критериям, породило другие принципиальные проблемы, прежде всего выбора вида свертки, которые будут охарактеризованы при рассмотрении методов данной группы [9, 22, 31].

В связи с наличием у эвристических методов недостатков была разработана вторая группа — аксиоматические методы, которые сложнее эвристических, но позволяют решать задачи многокритериального выбора более обоснованно и наглядно для ЛПР. В методах данной группы способ формирования решающего правила оптимизации основывается на предварительном выдвижении и проверке справедливости ряда аксиом [9, 31, 47]. Установление справедливости аксиом позволяет определить для ряда методов этой группы вид и параметры функции полезности, которая используется в решающем правиле при выборе лучших альтернатив [9, 25, 47].

По способу реализации как эвристические, так и аксиоматические методы подразделяются на одно- и многошаговые (итеративные) методы [9, 25, 31, 47]. При использовании одношаговых методов решение находится за один прием (шаг) на основе однократно сформированного решающего правила оптимизации. В многошаговых, как правило, эвристических процедурах одно и то же решающее правило оптимизации используется многократно с корректировкой функции свертки. В многошаговых, как правило, аксиоматических процедурах реализуется принцип «вложенных отношений». Этот принцип предполагает использование составного решающего правила оптимизации, предусматривающего последовательное применение все более совершенных частных решающих правил (формируемых на основе все более сложной информации о предпочтениях ЛПР, которая не изменяет использованную информацию при формировании предыдущих частных правил), к множествам альтернатив, все более уменьшаемым по мощности на каждом шаге.

Перед рассмотрением эвристических и аксиоматических методов решения задач многокритериального выбора в условиях определенности целесообразно рассмотреть аксиоматический метод выделения лучших альтернатив по критерию Эджворта–Парето. Это обуславливается важностью положений этого метода и выделяемых с его использованием альтернатив для понимания существа как эвристических, так и аксиоматических процедур.

## 7.2. Методы выделения лучших альтернатив по критерию Эджворта–Парето. Эффективные альтернативы и их свойства

В практике существует много задач выбора решений по векторному показателю, для которых характерен ряд допущений, которые позволяют на основе аксиом и теорем из множества допустимых альтернатив выделить так называемые эффективные или оптимальные по Э–П альтернативы  $A_{\text{ов}}^{\text{э-п}} \in A_{\text{ов}}$ . К таким допущениям относятся следующие [9, 25, 30, 31, 48]:

✓ предпочтения ЛПР на множестве векторных оценок допустимых альтернатив не изменяются скачком (от 0 до 1, т.е. от полной непригодности до полной пригодности), и для любой векторной оценки можно так изменить ее компоненты, что исходная и новая оценки будут одинаковы по предпочтительности;

✓ для ЛПР большие значения частных показателей предпочтительнее меньших (это допущение всегда можно выполнить заменой знака у показателя, значения которого необходимо уменьшить);

✓ частные показатели взаимонезависимы по предпочтению.

Частные показатели называются взаимонезависимыми по предпочтению, если направления предпочтения ЛПР по каждому частному показателю не изменяются в зависимости от того, какие значения принимают другие показатели.

Для иллюстрации часто приводится следующий пример [9, 31].

Пусть работа промышленного предприятия характеризуется тремя показателями:

$G$  — объем запланированной промышленной продукции;

$T$  — время, оставшееся до конца планового периода;

$C_p$  — доля задействованного резервного фонда, например, в процентах от общей его величины.

При этом могут сложиться две ситуации, которые будут влиять на направление предпочтений ЛПР значений одного из частных показателей. Так, если предприятие работает хорошо и имеется необходимый запас времени для выполнения плана выпуска продукции, то ЛПР предпочтет меньшие значения показателя задействованных резервов. В другой ситуации, когда выполнение плана окажется под угрозой срыва, ЛПР изменит свои предпочтения по третьему показателю, так как для обеспечения сроков выполнения плана потребуется увеличение задействованного резервного фонда.

Приведенный пример показывает, что уже при трех показателях возможна их зависимость по предпочтению. В этой связи

разработаны специальные алгоритмы работы специалистов-аналитиков с ЛПР для получения информации о независимости частных показателей по предпочтению. Если информация получена положительная, то для такой задачи выбора справедлива аксиома Э-П. По ней для числа альтернатив не больше трех можно выделить ядро строгого предпочтения — эффективные или оптимальные по Э-П альтернативы [9, 30, 31, 48]. Это альтернативы, которые, как отмечалось в гл. 2, не могут быть улучшены одновременно по всем показателям. Попытка улучшить альтернативу хотя бы по одному частному показателю приводит к ее ухудшению по другим показателям. Такие альтернативы также называют недоминируемыми (по векторным оценкам).

При числе частных показателей, большим трех, методы выделения эффективных альтернатив с использованием критерия оптимизации Э-П значительно усложняются. Они основываются на нескольких теоремах о свойствах эффективных стратегий: Подиновского; Гермейера; Куна, Таккера, Карлина [9, 31]. Существуют методы, включающие решение ряда задач математического программирования с использованием ЭВМ и требующие, как правило, довольно значительных затрат времени и ресурсов. Разработаны и другие более простые методы выделения эффективных альтернатив. Один из них, например, заключается в последовательной генерации альтернатив случайным образом, но при обеспечении равномерности их выборки на множестве допустимых решений. Выбранные альтернативы сравниваются на доминирование со всеми выделенными на предыдущих шагах недоминируемыми альтернативами по специальному правилу. Доминируемые альтернативы отсеиваются. Через определенное число циклов будут выделены эффективные варианты решения.

Для всех методов нахождения оптимальных по Э-П решений характерен такой уровень сложности, что они могут разрабатываться и применяться только опытными специалистами-аналитиками. При этом для дискретного случая может быть получено все подмножество  $A_{\text{ов}}^{*\text{э-п}}$ , а для непрерывного множества  $A_{\text{ов}}$  подмножество эффективных альтернатив аппроксимируется по отдельным точкам [9, 31].

Мощность подмножества  $A_{\text{ов}}^{*\text{э-п}} \in A_{\text{ов}}$  значительно меньше множества допустимых альтернатив  $A_{\text{ов}}$ . Поэтому в практике могут останавливаться на выделении и использовании этого подмножества для выбора из него лучших альтернатив. Для практического использования ЛПР необходимо выбрать, как правило, одну альтернативу. Однако подмножество эффективных альтернатив все же значительно, что существенно затрудняет выбор одной

лучшей альтернативы. Поэтому для ЛПР желательно осуществлять выбор из меньшего, по сравнению с подмножеством  $A_{\text{ов}}^{*э-п}$ , подмножества лучших альтернатив. Уменьшение мощности подмножества лучших альтернатив возможно только при получении от ЛПР более совершенной информации о предпочтениях, чем информация о независимости частных показателей по предпочтению. Такой информацией, как было показано в предыдущем подразделе, является, например, информация об относительной важности частных показателей.

Информация о предпочтениях ЛПР может быть получена различная по сложности и качеству. В зависимости от этого формируются решающие правила оптимизации, обладающие различной «способностью» по сужению мощности множества лучших альтернатив  $A_{\text{ов}}^* \in A_{\text{ов}}$ . Основная информация от ЛПР о его предпочтениях может быть следующей [9, 25, 31, 47, 48]:

- ✓ о величине «замещений» частных показателей  $F_{0i}$  или информация об относительной важности этих показателей (более сложная, чем информация об их независимости по предпочтению);
- ✓ о значениях коэффициентов важности частных показателей  $F_{0i}$  (самая сложная);
- ✓ о виде функции свертки;
- ✓ о виде и параметрах функции полезности.

Конкретные виды этой информации используются в различных эвристических и аксиоматических методах, которые будут кратко охарактеризованы в данной главе.

Под предпочтением понимается любая форма упорядочения множества альтернатив  $A_{\text{ов}}$  и выбора из него одной лучшей альтернативы  $a_{\text{ов}}^*$  или подмножество лучших альтернатив  $A_{\text{ов}}^*$ . Для учета предпочтений ЛПР их необходимо выявить. В работах отмечают два варианта постановки задачи выявления предпочтений [9, 25, 31].

Первая из них заключается в апостериорном выявлении предпочтений. Эта задача имеет место в том случае, когда принятие решения осуществляется многократно при неизменных или почти неизменных условиях и накоплен достаточный опыт о принятых ранее решениях.

Более сложной и наиболее характерной является задача априорного выявления и моделирования предпочтений ЛПР, включающаяся в сам процесс принятия решения. Такая задача предусматривает использования специальных процедур. При этом для выражения и описания предпочтений ЛПР в теории принятия решений используются различные способы. Основные из них будут рассмотрены ниже.

## 7.3. Способы выражения и описания предпочтений лиц, принимающих решения

### 7.3.1. Общая характеристика способов выражения и описания предпочтений ЛПР

Для выражения и описания предпочтений ЛПР в моделях принятия решений используются соответственно элементарные суждения и представление предпочтений в виде отношений [9, 25].

В теории принятия решений для выражения предпочтений используются элементарные суждения ЛПР и (или) экспертов в различных формах. Наиболее известными формами элементарных суждений являются попарные сравнения в различных вариантах, выражение предпочтений коэффициентами важности, субъективными вероятностями, лингвистическими переменными и др. [9]. К ним также отнесено распределение по классам (сортировка) и ранжирование альтернатив [9]. Однако это можно признать только для несложных случаев, когда альтернативы просты и их мало. При сложных альтернативах и их большом числе, сортировка и ранжирование альтернатив представляют собой, как отмечалось в пятой главе, не элементарные суждения, а самостоятельные задачи принятия решений.

Попарные сравнения являются одним из широко применяемых и сравнительно простых форм элементарных суждений для математического описания предпочтений в теории принятия решений. Они заключаются в последовательном предъявлении ЛПР и (или) экспертам только двух элементов из их множества и выражении этими лицами степени предпочтительности одного из элементов или их равенства. Результаты попарных сравнений могут выражаться числами или символами, определяемыми по специальным качественным шкалам перевода качественных суждений ЛПР о степени предпочтительности элементов, и представляются чаще всего в виде матрицы.

Попарные сравнения могут также осуществляться с использованием специальных балльных шкал, являющимися промежуточными между качественными и количественными шкалами [9].

Учитывая большую значимость этой формы элементарных суждений, речь о попарных сравнениях и их применении для определения, например, относительной важности частных показателей в работе будет вестись еще не один раз.

При выражении предпочтений коэффициентами важности ЛПР и (или) эксперты должны охарактеризовать степень проявления свойств каждого элемента из их множества неотрицательными нормированными коэффициентами (сумма их равна единице).

це). (Методы определения коэффициентов важности частных показателей см. в подп. 7.3.2.)

С характеристикой некоторых других элементарных суждений можно ознакомиться по имеющимся источникам [9]. Это обуславливается локальностью такой формы элементарных суждений, как субъективные вероятности. Относительно лингвистических переменных следует отметить их значительную специфичность, сложность процедур принятия решений в условиях использования теории нечетких множеств и нечеткой логики, что предопределяет необходимость их рассмотрения в отдельной работе.

Основные положения по сортировке и ранжированию альтернатив будут рассмотрены в подп. 7.3.3.

Для математического описания предпочтений, кроме приведенных форм элементарных суждений, используется универсальное их представление в виде отношений [9, 38].

Отношение является математическим понятием для обозначения подмножества прямого декартова произведения множеств. Наиболее часто в практике принятия решений используются бинарные отношения, которые хорошо связываются с традиционными способами выражения элементарных суждений. Бинарным отношением  $R$  на множестве элементов  $D$  называют подмножество упорядоченных определенным образом пар  $(d_i, d_j)$  прямого декартова произведения  $D \times D$  всех таких пар. Бинарные отношения обладают следующими свойствами [9, 38]:

1) связность, если для любых двух несовпадающих элементов  $()D$  справедливо хотя бы одно из утверждений:  $(d_i, d_j) \in R$ ,  $(d_j, d_i) \in R$ , т.е. все элементы множества находятся попарно в определенном отношении друг с другом;

2) рефлексивность, если для любого элемента  $d \in D$  выполняется условие  $(d, d) \in R$ ;

3) транзитивность, если для любой тройки элементов  $d_i, d_j, d_k \in D$  из  $(d_i, d_j) \in R$  и  $(d_j, d_k) \in R$  следует, что  $(d_i, d_k) \in R$ , например, если  $d_i > d_j$  и  $d_j > d_k$ , то и  $d_i > d_k$ ;

4) симметричность, если из  $(d_i, d_j) \in R$  всегда следует, что и  $(d_j, d_i) \in R$ .

Каждое из этих свойств имеет свой антипод.

Так, бинарное отношение несвязно и нетранзитивно, если не выполняется условие связности и транзитивности.

Антирефлексивность означает, что из  $(d_i, d_j) \in R$  следует, что  $d_i$  не есть  $d_j$ , т.е. отношение  $R$  справедливо только для несовпадающих элементов из  $D$ .

Антиподом симметричности для числовых и нечисловых бинарных отношений являются соответственно понятия антисимметричности и асимметричности. Антисимметричность означает, что из  $(d_i, d_j) \in R$  и  $(d_j, d_i) \in R$  следует равенство  $d_i$  и  $d_j$ . Асимметричность означает, что из  $(d_i, d_j) \in R$  следует, что  $(d_j, d_i) \notin R$ .

Значимость бинарных отношений и их свойств в теории принятия решений велика. Это определяется тем, что с их помощью формально задаются и описываются свойства всех отношений предпочтения. Основными отношениями предпочтения являются отношение строгого предпочтения  $\succ$  и отношение эквивалентности (безразличия)  $\sim$ . На их основе дополнительно вводят отношение нестрогого предпочтения  $\succeq$ , несравнимости  $\underset{\lambda}{\succ}$  и неразличимости # (толерантности). Наличие у некоторых из перечисленных отношений частных свойств обусловило их дополнительную градацию.

Запись  $d_i \succ d_j$  означает, что элемент  $d_i$  строго предпочтительнее элемента  $d_j$ . Различается строгий частичный и связный порядок и квазисерия. Строгий частичный порядок является транзитивным, антирефлексивным и асимметричным, а связный (серия) — еще и связным. Квазисерия обладает свойствами транзитивности, асимметричности и антирефлексивности.

Отношение  $d_i \sim d_j$  означает одинаковую предпочтительность элементов и обладает свойствами транзитивности, рефлексивности и симметричности.

Отношение нестрогого предпочтения  $\succeq$  означает, что при предъявлении элементов  $d_i$  и  $d_j$  ЛПР указывает либо  $d_i \succ d_j$ , либо  $d_i \sim d_j$ . Это отношение может представлять собой несвязный квази-порядок со свойствами транзитивности и рефлексивности, связный квази-порядок с дополнительным свойством связности и связный нестрогий порядок со свойствами транзитивности, антирефлексивности, асимметричности и связности.

Отношение  $\underset{\lambda}{\succ}$  несравнимости элементов  $d_i$  и  $d_j$  означает, что ЛПР не может выразить отношения между ними. Отношение # неразличимости дополнительно к этому может означать эквивалентность элементов, т.е.  $d_i \sim d_j$ . Оба эти отношения называются еще толерантностью и являются рефлексивными и симметричными.

Любое несвязное (частичное) отношение отличается от связного тем, что классы элементов из множества предъявления можно упорядочить по предпочтительности не полностью, а только частично.

Для всех отношений предпочтения, кроме толерантности, указано свойство транзитивности. Однако транзитивность может те-



ряться при попарном сравнении элементов ЛПР и (или) экспертами, что свидетельствует о противоречивости их суждений. Обычно стремятся добиться непротиворечивости суждений этих лиц или провести операцию транзитивного замыкания полученных отношений [9]. Операция основывается на одной из гипотез о транзитивности и связности суждений ЛПР, в соответствии с которой некоторое не транзитивное отношение  $R$  можно аппроксимировать «ближайшим» наименьшим транзитивным отношением  $R_0$ , которое включает в себя  $R$ . Это позволяет в дальнейшем, если не оговорено, считать отношения строгого предпочтения  $\succ$ , безразличия  $\sim$  и нестрогого предпочтения  $\succeq$  транзитивными.

Каждую из форм элементарных суждений можно охарактеризовать посредством свойств бинарных отношений.

Ранее уже отмечалось, что потеря транзитивности происходит в том случае, если ЛПР не может четко выразить суждения об отношении на множестве элементов. Это, например, при сортировке приводит к толерантности. В таком случае иногда применяется аппарат задания нечетких отношений предпочтений с использованием лингвистической переменной [9]. Нечеткие отношения и их свойства в работе рассматриваться не будут. Это обуславливается их специфичностью и сложностью, как и теории нечетких множеств и нечеткой логики, что определяет, как уже отмечалось выше, необходимость отдельного изложения.

Одной из важнейших видов информации в системе предпочтений ЛПР, которая необходима как для эвристических, так и аксиоматических методов, является информация об относительной важности частных показателей. Она может определяться различными способами. Эти способы рассматриваются в следующем пункте.

### **7.3.2. Способы определения относительной важности и значений коэффициентов важности частных показателей**

В настоящее время в практике наиболее часто используются два способа определения важности частных показателей [9, 25, 31, 47].

Первый способ предусматривает получение качественной информации об относительной важности частных показателей от ЛПР, т.е. об их равноценности или превосходстве, о величине «замещений». Эта информация получается в ходе контрольного предъявления ЛПР специально формируемых векторных оценок, которые должны удовлетворять двум требованиям. Первое из них состоит в том, что все их компоненты должны быть однородными (иметь общую шкалу). Второе требование предполагает одинаковость всех значений частных показателей, кроме тех двух, относительная

важность которых выясняется. Если после перестановки контрольных компонент ЛПР считает одинаковыми по предпочтительности исходную и вновь полученную векторные оценки, то рассматриваемые частные показатели имеют одинаковую важность. В противном случае более важным считается тот показатель, который входит после перестановки в более предпочтительную векторную оценку.

Как отмечалось в п. 7.1, наиболее сложной информацией о предпочтениях ЛПР являются значения коэффициентов важности частных показателей. Перед рассмотрением способов определения значений этих коэффициентов необходимо уяснить вопрос об обеспечении однородности частных показателей.

Для обеспечения однородности частных показателей, имеющих различные шкалы, используют приемы эквивалентного преобразования неоднородных исходных показателей  $F_{0i}$  к единому безразмерному виду  $F_i$ . Наиболее часто применяется нормирование неоднородных количественных показателей диапазонами их возможных значений [9, 25, 31], т.е.

$$F_i = \frac{F_{0i} - F_{0i}^{\min}}{F_{0i}^{\max(\text{эт})} - F_{0i}^{\min}}, \quad (7.2)$$

где  $F_{0i}^{\max(\text{эт})}$  и  $F_{0i}^{\min}$  — соответственно максимальные или эталонные и минимальные значения исходных частных показателей, установленные путем логического анализа существа задачи или решением оптимизационных задач.

Второй способ определения важности частных показателей основывается на применении экспертных методов, которые позволяют сразу получать значения нормированных коэффициентов относительной важности частных показателей. Эти значения используются в эвристических методах решения векторных задач выбора при формировании функций свертки. Методов экспертного определения значений коэффициентов важности имеется значительное количество. Например, в число таких методов входят методы непосредственной численной оценки, балльного оценивания, попарного сравнения с градациями, относительных частот рангов, последовательных сравнений, графоаналитический метод и др. [9, 31].

В методе непосредственной численной оценки каждый эксперт из привлеченной для работы их группы непосредственно для каждого частного показателя  $F_i$  указывает нормированное значение коэффициента относительной важности  $K_{vi}$ . За групповую оценку значения коэффициента для частного показателя прини-

мается, например, среднее арифметическое или среднее геометрическое из его оценок, указанных экспертами.

При использовании метода балльного оценивания для каждого частного показателя  $F_i$  каждый  $j$ -й эксперт из группы ( $j = 1, n$ ) присваивает балл  $K_{vij}^6$ , выраженный в целых числах по принятой шкале, например, 0–100. Нормированное значение коэффициента относительной важности  $i$ -го частного показателя  $K_{vi}$  рассчитывается по формуле [9]

$$K_{vi} = \frac{K_{vi}^6}{\sum_{j=1}^n K_{vij}^6}, \quad (7.3)$$

где  $K_{vi}^6$  — суммарный балл для частного показателя  $F_i$ , определяемый по выражению

$$K_{vi}^6 = \sum_{j=1}^n K_{vij}^6. \quad (7.4)$$

Методы непосредственной численной оценки и балльного оценивания в настоящее время применяются очень редко, так как не исключают существенных ошибок из-за субъективизма экспертов. Современные методы определения коэффициентов основываются на сравнении и установлении отношений между показателями, в том числе проведением попарных сравнений.

Суть метода попарных сравнений с градациями состоит в том, что группа экспертов должна произвести попарное сравнение на важность между собой всех частных показателей  $F_i$ . При этом степень важности необходимо выразить в числах с использованием специальных шкал, которые должны перекрывать весь возможный диапазон изменения важности показателей. В специальной шкале могут быть, например, следующие градации важности:

1 — показатели одинаковы по важности;

3 — имеются достаточные основания считать один показатель важнее другого;

5 — один показатель, безусловно, важнее другого.

При сравнениях могут использоваться промежуточные значения предпочтительности, т.е. числа 2 и 4. Если один элемент уступает другому, то его важность характеризуется обратной величиной:  $\frac{1}{3}$ , ...,  $\frac{1}{5}$ . В результате сравнений формируется матрица попарных сравнений важности показателей (табл. 7.1), элементы которой являются числами, характеризующими относительную важность частных показателей.

**Вид матрицы попарных сравнений частных показателей  
по важности**

	$F_1$	...	$F_i$	...	$F_m$
$F_1$	1	...	$W_{1i}^0$	...	$W_{1m}^0$
...	...	...	...	...	...
$F_i$	$1/W_{1i}^0$	...	1	...	$W_{im}^0$
...	...	...	...	...	...
$F_m$	$1/W_{1m}^0$	...	$1/W_{im}^0$	...	1

Проведением специальных расчетов по элементам полученной матрицы несложно получить числовые коэффициенты важности частных показателей. Один из вариантов таких расчетов будет приведен в девятой главе при характеристике основного метода анализа иерархий.

Методы относительных частот рангов и последовательных сравнений, а также графоаналитический метод характеризоваться не будут. Их можно изучить по существующим источникам [9, 31].

В работах приводятся и другие методы определения весов критериев [21, 25]: метод отношений (см. п. 8.2); метод наибольших отклонений; методы компенсации и взвешенной полезности, используемые в методах анализа задач принятия решений, основанных на подходе многокритериальной теории полезности.

### 7.3.3. Методологические положения по сортировке и ранжированию альтернатив

К методологическим положениям относятся основные положения о сортировке и ранжировании и методы решения задач сортировки и ранжирования [9, 25]. Они и будут рассмотрены в данном пункте.

Сортировка заключается в распределении альтернатив на некоторое количество классов, для которых характерны отличие друг от друга по уровню предпочтительности и одинаковая предпочтительность альтернатив внутри классов. Она задает, как правило, отношение эквивалентности между альтернативами. Пусть, например, множество альтернатив  $A$ , предъявленное ЛПР и включающее девять альтернатив  $A_1, \dots, A_9$ , необходимо распределить на три класса. В результате отображения предпочтительности альтернатив в номинальную шкалу могут быть получены сле-

дующие три класса:  $A_3 \sim A_5 \sim A_8$ ,  $A_4 \sim A_7$  и  $A_1 \sim A_2 \sim A_6 \sim A_9$ . Если классы расположены в порядке возрастания или убывания предпочтительности, т.е. осуществлено их строгое ранжирование, то имеет место квазисерия  $(A_3 \sim A_5 \sim A_8) \succ (A_1 \sim A_2 \sim A_6 \sim A_9) \succ (A_4 \sim A_7)$ . В ней возможна не только эквивалентность, но и неразличимость альтернатив внутри классов.

При осуществлении сортировки может сложиться ситуация, когда элементы на границах классов будут иметь приблизительно одинаковую предпочтительность, т. е. являются эквивалентными или неразличимыми. В этом случае сортировка теряет свойство транзитивности и становится толерантной (только асимметричной и антирефлексивной), что является определенным недостатком.

Ранжирование альтернатив заключается в их представлении в виде последовательности в соответствии с возрастанием или убыванием предпочтительности. Существует строгое и нестрогое ранжирование. Нестрогое ранжирование альтернатив, например,  $A_5 \succ A_3 \sim A_8 \succ A_2 \sim A_1 \succ A_6 \sim A_9 \succ A_7 \sim A_4$  является связным нестрогим порядком. Если ранжирование строгое, т.е.  $A_5 \succ A_3 \succ \dots \succ A_7 \succ A_4$ , то отношение альтернатив является связным строгим порядком (серия). Ранжирование, как правило, осуществляется приписыванием альтернативам числовых оценок в ранговой шкале. Различают прямое и обратное ранжирование. При прямом ранжировании более предпочтительным альтернативам приписываются меньшие значения оценок, а при обратном — большие значения оценок.

Сортировка и ранжирование выражаются в качественных шкалах. Промежуточное положение между качественными и количественными шкалами имеет ранжирование альтернатив в балльных шкалах, которые используются в том случае, если предпочтительность альтернатив устанавливается по правилам, не допускающим двойного толкования.

Существует сравнительно много методов сортировки и ранжирования альтернатив. Одними из первых методов были методы обработки и анализа ранжировок и балльных оценок [9]. Они могут быть использованы при количестве оцениваемых элементов не более 10, а в пределе — не более 20.

При обработке и анализе ранжировок сначала проводится экспертиза с привлечением группы экспертов. В ее ходе каждый эксперт размещает сравниваемые элементы в порядке возрастания или убывания их предпочтительности и приписывает им ранги в виде натуральных чисел. Например, при прямом ранжировании  $N$  элементов наиболее предпочтительный элемент имеет ранг 1, наименее предпочтительный — ранг  $N$ . Если эксперт не может осуществить строгое ранжирование из-за наличия в предъявленном

множестве, по его мнению, одинаковых по предпочтительности элементов, то допускается присвоение таким элементам одинаковых рангов. При этом для обеспечения равенства суммы рангов сумме мест ранжируемых элементов, используются стандартизированные ранги. Такие ранги представляют собой средние арифметические номеров элементов в ранжировке, имеющих одинаковую предпочтительность.

На основе индивидуальных предпочтений экспертов путем их обработки и анализа строится групповое отношение предпочтения. При этом могут ставиться и решаться следующие задачи: определение тесноты связи между ранжировками двух экспертов с использованием коэффициентов ранговой корреляции Кендалла или Спирмена (соответственно при строгом и нестрогом ранжировании); определение взаимосвязи между двумя элементами по индивидуальным мнениям членов группы экспертов относительно различных характеристик этих элементов; оценка согласованности мнений экспертов в группе [9].

В некоторых случаях экспертам удобно осуществить балльное оценивание предпочтений элементов по специальной балльной шкале, а затем — их ранжирование. Сначала элементы размещают в порядке возрастания баллов, и балльные оценки переводят в ранги с последующей обработкой и анализом. Затем проводится обработка и анализ баллов как числовых показателей с применением статистических методов оценивания с предположением, что разброс мнений экспертов обусловлен только случайными погрешностями. Обработка и анализ балльных оценок возможно лишь тогда, когда использованная балльная шкала непрерывна или имеет большое количество градаций, а также установлены правила начисления баллов.

В более подробной характеристике методов обработки и анализа ранжировок и балльных оценок нет необходимости. Это обусловлено, во-первых, тем, что они достаточно полно рассмотрены в имеющихся публикациях [9]. Во-вторых, отношение специалистов к таким методам в настоящее время весьма критическое, в первую очередь, из-за сложности достижения приемлемой степени объективности и минимизации заинтересованности экспертов [9]. В связи с этим были разработаны более совершенные методы упорядочения альтернатив. Одним из таких методов является заполнение по результатам групповой экспертизы матриц попарных сравнений альтернатив с вычислением их собственных векторов. (Пример использования этого метода см. в гл. 11.)

## 7.4. Характеристика эвристических методов решения задач выбора при многих критериях в условиях определенности

### 7.4.1. Метод обобщенного показателя

Наиболее широко известными и применяемыми эвристическими одношаговыми процедурами являются метод обобщенного (агрегированного) и метод главного показателя [9, 22, 31]. К эвристическим многошаговым методам относится, прежде всего, метод последовательных уступок [22, 31]. Итеративные процедуры могут организовываться и на основе методов обобщенного и главного показателей. В этом пункте будет рассмотрен метод обобщенного показателя, другие методы — в последующих пунктах данного параграфа.

В практике, в зависимости от особенностей задачи выбора, используются несколько видов функции агрегирования.

Например, если в задаче допустима компенсация уменьшения абсолютных значений одних показателей за счет суммарного абсолютного увеличения других, то можно использовать аддитивную функцию агрегирования [9, 31]

$$\varphi(F^{(m)}) = \sum_{i=1}^m K_{ni} F_i, \quad (7.5)$$

где  $K_{ni}$  — числовой нормированный коэффициент относительной важности частного показателя  $F_i$ ,  $\sum_{i=1}^m K_{ni} = 1$ .

В формуле (7.5) все частные показатели однородны (рассчитаны по выражению (7.2)), а коэффициенты  $K_{ni}$  — безразмерны. Это условие будет считаться справедливым и для других видов функции агрегирования.

Задачи выбора, допускающие использование аддитивной функции свертки, очень часто встречаются в практике. К таким задачам относятся задачи выбора, в которых используются показатели суммарного дохода, прибыли, ущерба, потерь, финансовых затрат, затрат времени и т.п.

В ряде задач считается возможной не абсолютная, а относительная компенсация изменения значений одних показателей значениями других (ЛПР считает, что суммарная степень относительного снижения одних показателей эквивалентна суммарному уровню относительного увеличения остальных). Это обуславлива-

ет применение мультипликативной функции агрегирования вида [9, 31]

$$\varphi(F^{<m>}) = \prod_{i=1}^m F_i^{K_{vi}}. \quad (7.6)$$

Есть задачи, которые полностью не допускают компенсации значений одних показателей другими, т.е. частные показатели имеют одинаковую важность, т.е.  $K_{vi} = \frac{1}{m}$ . Для таких задач, требующих «подтягивания» всех показателей к их лучшему уровню, используется агрегирующую функцию [9, 31]

$$\varphi(F^{<m>}) = \min\left(\frac{F_i}{K_{vi}}\right), K_{vi} \neq 0, i = \overline{1, m}. \quad (7.7)$$

Общим случаем функции свертки является средняя степенная функция [9, 31]

$$\varphi(F^{<m>}) = \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m F_i^{p_f}\right)^{\frac{1}{p_f}}, p_f \neq 0, \quad (7.8)$$

где  $p_f$  — показатель, отражающий допустимую степень компенсации малых значений одних равноценных показателей большими значениями других показателей; чем он больше, тем больше степень возможной компенсации.

Если, например, компенсация недопустима и требуется выравнивание значений всех показателей ( $p_f \rightarrow \infty$ ), то в пределе вид агрегирующей функции (7.8) совпадает с функцией (7.7). В случае необходимости обеспечить примерно равные уровни значений частных показателей, функция (7.8) трансформируется в функцию (7.6). Во всех этих случаях  $K_{vi} = \frac{1}{m}$ .

Важны для практики следующие частные варианты средней степенной функции [9, 31]:

$$\varphi(F^{<m>}) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m F_i^2} \quad (\text{при } p_f = 1); \quad (7.9)$$

$$\varphi(F^{<m>}) = \sum_{i=1}^m F_i^2 (p_f = 2), \quad (7.10)$$

которые широко используются в математической статистике, теории автоматического регулирования, математическом программировании и т.д.



Если в задачах планирования «по узкому месту» считается допустимой компенсация увеличения одного из показателей сколь угодно большим уменьшением остальных показателей, (это имеет место при  $p_f \rightarrow \infty$ ), может применяться свертка [9, 31]

$$\varphi(F^{<m>}) = \max_i \{K_{\omega} F_i\}. \quad (7.11)$$

Свертка такого вида получается в результате предельного перехода от средней степенной функции.

При решении задач выбора по двум частным или двум группам показателям встречаются случаи, когда один показатель (группу показателей) желательно увеличивать, а второй (вторую) — уменьшать, в качестве функции агрегирования можно использовать отношение одних показателей к другим. Это чаще всего бывает для показателей (группы показателей) целевого результата и затрат на его (их) получение. Например, для скалярных показателей количества произведенной предприятием продукции  $G$  и затрат на нее  $C$  свертка имеет вид [9, 25, 31]

$$\varphi(F^{<2>}) = \frac{G}{C}. \quad (7.12)$$

Полученный скалярный показатель выражает удельный целевой результат и может определяться для неоднородных показателей целевого результата и затрат. Использование такой функции агрегирования требует, как правило, наложения дополнительных ограничений на значения частных показателей, так как решение задачи может оказаться в области низких затрат и неприемлемого значения показателя целевого результата.

Особая процедура агрегирования применяется в методе целевого программирования [5, 9]. Она заключается в «сворачивании» частных показателей в скалярную величину, имеющая смысл расстояния до так называемой идеальной точки. При этом под «идеальной» точкой понимается некоторая точка в  $m$ -мерном пространстве частных показателей, которая полностью соответствует представлениям ЛПР о наиболее предпочтительной альтернативе. В методе целевого программирования в зависимости от информации об относительной важности частных показателей могут использоваться различные агрегирующие функции [5, 9].

#### 7.4.2. Метод главного показателя

В практике встречаются задачи выбора, в которых ЛПР считает, что целевой результат достигается, в основном, за счет увели-

чения одного из частных показателей  $F_k$  векторного показателя  $F^{<m>}$ . Этот частный показатель  $F_k$  выбирается в качестве главного показателя. Следовательно, исходная задача выбора может быть сведена к задаче оптимизации по главному скалярному показателю  $F_k$  при условии, что значения остальных частных показателей  $F_i$ ,  $i \neq k$  не выходят за пределы некоторой подобласти значений. Обычно такая подобласть задается ограничениями-неравенствами вида  $F_i \geq F_i^{mp}$ , а задача оптимизации принимает следующий вид [5, 9, 31]

$$a_{\text{ов}}^{*s-n}: \max_{a_{\text{ов}} \in A_{\text{ов}}} F_k, \quad (7.13)$$

$$A_{\text{ов}} = \{a_{\text{ов}} / F_i \geq F_i^{mp}, i \neq k, i = \overline{1, m}\},$$

где  $a_{\text{ов}}^{*s-n}$  — эффективная альтернатива (согласно одной из теорем о свойствах эффективных альтернатив по выражению (7.13) могут находиться оптимальные по Э–П решения) [31];  $F_i^{mp}$  — граничное (требуемое) значение  $i$ -го частного показателя.

В заключение рассмотрения одношаговых эвристических методов необходимо отметить одну важную особенность. Она состоит в том, что иногда решение задач многокритериального выбора с помощью этих методов в прямой постановке можно выделить неэффективные альтернативы. Это положение относится к ситуации, для которой значения агрегирующей функции или главного показателя для нескольких альтернатив одинаковы. Для исключения подобных явлений модифицируют главный показатель таким образом, чтобы он был возрастающим сразу по всем показателям и в то же время приводил к решению, близкому к наилучшему решению для применяемого метода. Например, для метода главного показателя таким модифицированным скалярным показателем может быть свертка [9, 31]

$$\varphi^\varepsilon(F) = F_k + \varepsilon \sum_{i=1}^m F_i, i \neq k, \quad (7.14)$$

где  $\varepsilon$  — положительное число, выбираемое на несколько порядков меньше предельных значений однородных частных показателей  $F_i$ .

Примером применения способа выделения главного показателя может служить выбор способа достижения цели с учетом трех скалярных показателей: показателя целевого эффекта  $G$ , показателей затрат ресурсов  $C$  и затрат времени  $T$ . Если в качестве главного показателя выбран показатель целевого эффекта  $G$ , то постановка скалярной оптимизационной задачи имеет следующий вид [9, 31]

$$a_{\text{ов}}^{*j-n} : \max G, \quad (7.15)$$

$$A_{\text{ов}} = \{a_{\text{ов}} / C \leq C^{\text{нкл}}, T \leq T^{\text{зад}}\},$$

где  $C^{\text{выд}}$  — объем выделенных ресурсов;  $T^{\text{зад}}$  — максимально рас- полагаемое время.

### 7.4.3. Многошаговые эвристические методы

Рассмотрим сначала метод последовательных уступок, как один из самых первых эвристических методов, а затем дадим краткую характеристику остальных.

Метод последовательных уступок предполагает использование при оптимизации одного и того же итерационного критерия. Суть метода последовательных уступок состоит в том, что все частные показатели  $F_i$ ,  $i = 1, m$ , ранжируются по важности в порядке ее уменьшения: 1)  $F_1, \dots, i) F_i, \dots, m) F_m$ . Первый по важности показатель оптимизируется, и определяется максимальное его значение. Затем ЛПР назначается величина допустимого уменьшения значения первого показателя (уступки) и находится решение, которое максимизирует значение второго по важности показателя. Аналогичная процедура повторяется для всех нижестоящих по важности показателей. Решение оптимизационной задачи для последнего по важности показателя считается решением всей задачи. Реализуется метод последовательных уступок с помощью ЭВМ в интерактивном режиме.

Специалисты считают [9, 22, 31], что такой способ получения оптимального по Э–П решения полезен тем, что видно, величиной какой уступки в значении одного показателя получен выигрыш в значении другого показателя. Более того, можно задаваться диапазоном величин уступок, оценивать интенсивность изменения выигрыша и на этой основе, с учетом важности показателей, итерационным путем выбирать рациональные величины уступок по каждому показателю.

В целом оптимизационные задачи, последовательно решаемых для всех частных показателей, по постановке соответствуют методу главного показателя. В связи с этим метод последовательных уступок обладает всеми достоинствами и недостатками метода главного показателя.

При организации итеративных процедур с использованием обобщенного показателя вначале этот показатель формируется обычно в виде линейной свертки с примерно одинаковыми значениями коэффициентов важности частных показателей. Решением

оптимизационной задачи выделяется лучшая альтернатива на первом шаге. На последующих шагах ЛПР корректируются значения коэффициентов важности частных показателей. При необходимости может подбираться другой вид функции свертки. На каждом шаге выделяются лучшие альтернативы. Итеративный процесс продолжается до получения приемлемого решения.

При использовании метода главного показателя назначается серия исходных значений ограничений на частные показатели, оставшиеся после назначения главного показателя. Для каждой серии определяется лучшая альтернатива. Если среди них нет варианта, удовлетворяющего ЛПР, то на следующих шагах изменяются ограничения на некоторые частные показатели. В качестве главного показателя может назначаться другой частный показатель. Итеративный процесс также завершается после получения приемлемого для ЛПР решения.

Неплохие результаты в обосновании решений дает совместное итеративное применение методов обобщенного и главного показателей, на заключительном этапе которого используется аксиоматические методы построения агрегирующей функции [9, 31].

В заключение обзора методов эвристической группы необходимо рассмотреть основные их достоинства и недостатки.

Сильными сторонами эвристических методов являются [9, 31]:

- ✓ относительная простота использования, так как в них для решения задач выбора может применяться хорошо проработанный арсенал методов математического программирования;

- ✓ не требуется высокая, прежде всего специальная, подготовка ЛПР;

- ✓ сравнительно небольшое время участие ЛПР, что ценно при высокой занятости ЛПР;

- ✓ высокая оперативность получения решений, причем, как правило, единственных.

К основным недостаткам эвристических методов относятся [9, 31]:

- ✓ сложность установления вида и параметров функции агрегирования для широкого спектра разнообразных задач выбора и возможный произвол в назначении уровней ограничений на значения неглавных частных показателей;

- ✓ сразу требуется вся и к тому же надежная информация о предпочтениях ЛПР и, как правило, в числовой форме (например, числовые значения коэффициентов важности частных показателей  $K_{vi}$  для метода обобщенного показателя);

- ✓ для ЛПР нет наглядности процесса выделения лучших альтернатив, малая степень его участия в этом процессе и убежденность в правильности выделенного варианта решения.

## 7.5. Аксиоматические одношаговые процедуры выделения лучших альтернатив по информации о важности частных показателей

В настоящее время разработаны процедуры выделения множества лучших альтернатив  $A_{\text{ов}}^{*\text{вп}}$  с использованием информации о важности частных показателей.

В общем случае модель предпочтений ЛПР на множестве показателей недоминируемых альтернатив задается на основе отношений строгого предпочтения, нестрогого предпочтения и безразличия [4, 33]. Также предполагается, что все отношения транзитивны. Для уменьшения мощности множества эффективных альтернатив могут применяться, например, такие приемы, как построение транзитивных цепочек, введение специальных опорных множеств векторных оценок, построенных на исходных сравниваемых векторах, использование порядковых коэффициентов важности и др. [4, 33]. При этом мощность множества выделенных лучших альтернатив  $A_{\text{ов}}^{*\text{вп}}$  может быть получено не больше множества эффективных альтернатив, т.е.  $A_{\text{ов}}^{*\text{вп}} \subseteq A_{\text{ов}}^{*\text{э-п}}$ .

Важное практическое значение имеют особые случаи информации о важности частных показателей. Наиболее характерными из них являются следующие случаи [9, 31]:

- ✓ информация об одинаковой важности частных показателей;
- ✓ сведения об абсолютном превосходстве по важности одних показателей над другими;
- ✓ информация о запрете компенсации уменьшения меньших значений всех равноценных показателей за счет сколь угодно значительного увеличения больших;
- ✓ сообщения о равноценности или превосходстве по важности одних групп частных показателей над другими.

Процедуры, основанные на информации о равной важности частных показателей, позволяют выделить множество лучших альтернатив  $A_{\text{ов}}^{*\text{рвп}}$ , которое может быть получено приблизительно вдвое меньше множества  $A_{\text{ов}}^{*\text{э-п}}$ .

Задачи нахождения решений по информации об абсолютном превосходстве одних частных показателей над другими и о запрете компенсации называются соответственно лексикографическими и симметрически лексикографическими задачами [9, 31]. Использование методов лексикографической оптимизации обеспечивает выделение множества лучших альтернатив  $A_{\text{ов}}^{*\text{лг}}$ , значительно меньшего множества  $A_{\text{ов}}^{*\text{э-п}}$  вплоть до нахождения одной лучшей альтернативы  $a_{\text{ов}}^*$ . Методы лексикографической оптимизации

ции привлекательны для исследователей из-за их высокой «разрешающей способности» и относительной простоты. Однако лексикографическим постановкам задач свойственна особенность, которая ограничивает область их применения. Она заключается в том, что не всегда даже малая уступка по лексикографически более предпочтительному частному показателю может компенсироваться сколь угодно значительным увеличением значений остальных показателей [9, 31]. Это должны учитывать пользователи при решении конкретных задач выбора.

При использовании информации об относительной важности групп показателей аксиоматические процедуры позволяют выделить множество лучших альтернатив, мощность которого превышает мощность множества эффективных альтернатив. Это обусловлено сложностью используемых при анализе правил, которые чаще нарушаются [9, 31].

## 7.6. Характеристика аксиоматических многошаговых методов — человеко-машинных процедур

Появление ЭВМ с богатым программным обеспечением и широкое внедрение информационных технологий привело к тому, что методы многокритериального выбора решений в условиях определенности все чаще реализуются как человеко-машинные, интерактивные процедуры (ЧМП) [25, 31, 48]. Эти процедуры предназначены для работы ЛПР, как правило, на множестве  $A_{\text{он}}^{*z-n}$  эффективных альтернатив с целью выделения из них лучшего, по его мнению, варианта решения.

Для ЧМП характерно, прежде всего, то, что априори специалистами-аналитиками с использованием аксиоматических методов (например, методов совместного шкалирования, половинного деления) при участии ЛПР определяется субъективная функция полезности (предпочтительности альтернатив). Обычно ЛПР стремятся работать с аддитивной функцией полезности [25, 31, 47]

$$W_n(F^{<m>}) = \sum_{i=1}^m W_i(F_i), \quad (7.16)$$

где  $W_i(F_i)$  — частная функция полезности по  $i$ -му частному показателю векторного показателя  $F^{<m>}$ .

Условиями аддитивного представления функции полезности является непрерывность шкал частных показателей и независимость этих показателей по предпочтению. Функция полезности может строиться и в нормализованной форме, когда ее значения

изменяются в пределах от 0 до 1. К допущениям, на которых основывается построение функции полезности, относятся такие требования к отношению предпочтения как связность, транзитивность, асимметричность и плавность изменения (оно не должно изменяться скачком).

Задача ЛПР состоит в том, чтобы в интерактивном режиме общения с ЭВМ на основе личной информации об относительной важности критериев из числа эффективных вариантов решения выделить лучшую альтернативу, которой соответствует максимальное значение функции полезности. При этом значения частных показателей  $F_i$  по наборам переменных и значения функции полезности  $W_n(F^{<m>})$  определяются ЭВМ. Для определения значений частных показателей в большинстве существующих ЧМП используется линейное программирование.

Работа ЛПР по нахождению лучшего решения нельзя назвать простой. Это обуславливается тем, что ему, при наличии большого множества переменных, трудно установить, насколько хорошие значения частных показателей достижимы одновременно. Кроме того, ему необходимо выработать как можно лучший компромисс между значениями частных показателей. Все это требует соответствующего опыта, достигается путем проб, ошибок и затрат времени.

Процедура общения ЛПР и компьютера в ЧМП состоит из последовательности шагов, каждый из которых включает фазу анализа и фазу расчетов, выполняемых соответственно ЛПР и компьютером. На фазе расчетов проводятся расчеты, используя полученную от ЛПР на предыдущем шаге информацию, и выделяются соответствующие этой информации решения и вспомогательные данные для ЛПР. На фазе анализа ЛПР оценивает предъявленное решение (их совокупность). Если имеется приемлемое решение, то ЧМП завершается. В противном случае ЛПР анализирует вспомогательную информацию и вырабатывает дополнительную информацию, с учетом которой компьютер вычисляет новое решение.

Следовательно, процесс поиска лучшего решения в ЧМП осуществляется по итеративному решающему правилу оптимизации, реализующему принцип «вложенных отношений». Он состоит в том, что на первом шаге для сужения множества эффективных альтернатив ЛПР использует самое несложное правило оптимизации на основе простого отношения предпочтений. На последующих шагах решающее правило оптимизации формируется для все более усложняющихся отношений предпочтения, которые не

изменяют предыдущих отношений и обеспечивают последовательное сужение множества альтернатив, т.е. [9, 25, 31]

$$K_{pn0} \subseteq K_{pn1} \subseteq \dots \subseteq K_{pny} \subseteq \dots \subseteq K_{pnN}; \quad (7.17)$$

$$A_{ов}^{j-n} \supseteq A_{ов1} \supseteq \dots \supseteq A_{овj} \supseteq \dots \supseteq A_{овN}, \quad (7.18)$$

где  $K_{pn0}$  и  $K_{pnj}$  — решающие правила оптимизации, сформированные на основе соответственно начального и  $j$ -го отношения предпочтения ЛПР;  $A_{овj}^*$  — множество лучших альтернатив, выделенных после использования  $j$ -го решающего правила оптимизации  $K_{pnj}$ .

Завершается этот итеративный процесс в трех случаях [9]:

- ✓ множество  $A_{овN}^*$  содержит только эквивалентные альтернативы;
- ✓ множество  $A_{овN}^*$  содержит одну альтернативу;
- ✓ дальнейшее усложнение решающего правила оптимизации по сравнению с  $N$ -м решающим правилом оптимизации  $K_{pnN}$  исключено из-за невозможности получения более сложной информации о предпочтениях ЛПР.

В настоящее время имеется сравнительно много ЧМП. Они отличаются друг от друга содержанием и способами выполнения рассмотренных двух фаз. При классификации ЧМП по признаку характера информации, получаемой от ЛПР на фазе анализа, выделяются три группы этих процедур [25].

В первую группу процедур входят прямые ЧМП, в которых ЛПР непосредственно назначает начальные веса критериев и корректирует эти веса на последующих шагах. Количество прямых ЧМП разработано немного, так как они неудобны для ЛПР при числе частных критериев, большем трех.

Вторую группу процедур составляют ЧМП, в которых основной функцией ЛПР является сравнение многокритериальных решений. Эта группа называется ЧМП оценки векторов.

Третья группа ЧМП предусматривает наложение ЛПР ограничений на значения критериев, т.е. на область их допустимых значений. Эта группа относится к ЧМП поиска удовлетворительных решений.

Общим для ЧМП всех трех групп является [25]:

- ✓ использование нормированных значений частных показателей, рассчитываемых по формуле (7.2);
- ✓ вычисление максимальных абсолютных значений частных показателей, которые при решении задачи выбора недостижимы одновременно, но позволяют ЛПР представлять пределы возможного.



ЧМП первой группы реализована, например, в процедуре SIGMOR (последовательный генератор информации для многоцелевых задач), второй группы – в процедурах «Дайера-Джиофриона» и Зайонца-Валлениуса, третьей группы – в процедуре STEM (одна из первых ЧМП) [25].

Характеристика аксиоматических методов решения задач выбора с объективными моделями, изложенная в предыдущих разделах, позволяет отметить положительные стороны и недостатки этих методов.

Так, к положительным сторонам аксиоматических методов принято относить [9, 25, 31]:

- ✓ возможность аксиоматического учета системы предпочтений ЛПР (без жестких требований представления всех ее характеристик сразу и в числовом виде) и формирования на этой основе обоснованного и ясного решающего правила оптимизации;

- ✓ личное участие ЛПР в решении задачи; более того, ЛПР является главным участником процесса выбора лучших альтернатив;

- ✓ наглядность процесса выбора, убедительность для ЛПР в обоснованности принимаемого решения;

- ✓ удобство многошаговых процедур, позволяющих реализовать методологию «вложенных отношений» и обеспечивающих для ЛПР интерактивный процесс общения с ЭВМ, в том числе остановку поиска, проведение дополнительного анализа и осуществление эвристического выбора из оставшихся альтернатив.

Вместе с тем, методам аксиоматической группы свойственны и недостатки. К основным недостаткам можно отнести [9, 25, 31]:

- ✓ необходимость высокой профессиональной подготовленности ЛПР и специальной подготовки его и аналитиков;

- ✓ низкая оперативность решения задачи выбора;

- ✓ необходимость наличия ЭВМ и, как правило, сложного программного обеспечения;

- ✓ недостаточная обширность аксиоматического аппарата.

Следовательно, единого универсального метода обоснования решений при векторных критериях и объективных моделях не существует. Каждому методу присущи сильные и слабые стороны. Поэтому ЛПР и помогающие ему исследователи-аналитики должны знать особенности существующих методов и выбрать подходящий метод по комплексу признаков. Этот комплекс составляют следующие признаки: простота реализации, удобство в применении, понятность (доступность) ЛПР, убедительность (наглядность), оперативность, степень достоверности решений, наличие программного обеспечения и др. Конечно, при прочих равных условиях несомненное превосходство имеют ЧМП. Если

среди существующих методов нет подходящего метода, то сформированные требования служат основанием для разработки необходимой новой процедуры.

Выше отмечалось, что в рассмотренных задачах векторного выбора присутствует объективное пространство альтернатив и частных показателей и субъективное пространство важности частных показателей. Несмотря на наличие субъективного пространства важности частных показателей, данный тип задач отнесен к задачам в условиях определенности или задачам с объективными моделями. Это обусловлено тем, что применяются специальные процедуры, позволяющие получить от ЛПР информацию о важности показателей или о функции полезности со значительной степенью объективности.

При решении векторных задач выбора с объективными моделями значительно возросла роль ЛПР (особенно при использовании аксиоматических методов) по сравнению с предыдущими типами задач. Однако ЛПР в своей работе опирается на солидную объективную базу (например, количественные частные показатели, математическое программирование, аксиоматический аппарат), что позволяет ему принимать решения, как правило, значительно лучшие эффективных вариантов.

Все выглядит иначе при обосновании решений по очень сложным неструктурированным проблемам, с которыми очень часто приходится иметь дело, например, в социально-гуманитарной и военной сферах человеческой деятельности. На решение таких проблем оказывают влияние многие сложные слабо выраженные факторы, в том числе одновременно с различными видами неопределенностей. В таких условиях провести структуризацию проблемы не представляется возможным, и для обоснования решений применяются специальные методы. Характеристика этих методов будет дана в следующей главе.

## **Глава 8. ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ МНОГИХ КРИТЕРИЯХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

### **8.1. Особенности задач принятия решений при многих критериях в условиях неопределенности**

Задачи принятия решений в условиях неопределенности являются, как было показано в пятой главе, задачами с субъективно-объективированными или субъективными моделями. В зависимости от вида и сложности критерия их можно разделить, как уже отмечалось во второй и пятой главах, на задачи с неиерархическим критерием и задачи с иерархическим критерием, состоящим из нескольких уровней компонент. В общем случае, все компоненты задачи обоснования решения в условиях неопределенности могут быть описаны вербально и характеризоваться только качественно. Формально по постановке и решению задачи выбора с субъективно-объективированными и субъективными моделями практически идентичны, так как отличаются друг от друга только возможной степенью проявления в системе предпочтений ЛПР чисто субъективных факторов.

Вместе с тем, в задачах как с неиерархическим, так и с иерархическим критериями некоторые компоненты критериев могут оцениваться количественными показателями. Достаточно иметь только один компонент общего критерия, который оценивается качественно, чтобы задача обоснования решения считалась неопределенной.

Главная роль в выборе решений в условиях неопределенности принадлежит ЛПР и помогающим ему экспертам и исследователям-аналитикам. Аналитики (специалисты по методам неформальной теории принятия решений) призваны разработать на основе предпочтений ЛПР решающее правило и применить его для сравнения альтернатив и выделения лучших из них. В настоящее время существуют различные подходы и методы принятия решений при многих критериях в условиях неопределенности. Основные из них будут кратко охарактеризованы ниже.

## 8.2. Основные подходы и методы выбора решений при многих критериях в условиях неопределенности

Задачи выбора в условиях неопределенности принято делить на две группы [24, 25]. К первой группе относятся задачи, в которых задано  $N$  альтернатив (обычно допустимых) и  $M$  критериев для оценки этих альтернатив. Необходимо построить решающие правила на основе предпочтений ЛПР, которые позволят [24, 25]:

а) выделить лучшую альтернативу (решить задачу выбора из допустимых альтернатив);

б) упорядочить альтернативы по качеству (провести ранжирование альтернатив);

в) отнести альтернативу к упорядоченным по качеству классам решений (осуществить сортировку альтернатив).

В задачах второй группы дано  $M$  критериев, предназначенных для оценки любых возможных альтернатив, которые заданы либо частично, либо определяются после формирования решающего правила. Требуется построить решающие правила на основе предпочтений ЛПР, позволяющие [24, 25]:

а) упорядочить по качеству все возможные альтернативы;

б) отнести все возможные альтернативы к одному из нескольких, заданных ЛПР, классов решений.

Считается, что две эти группы задач близки друг к другу при рассмотрении в рамках первой задачи большого числа разнообразных альтернатив [24, 25]. Если число альтернатив мало, то методы решения групп задач (по своим оценкам) разнятся.

Наиболее известны три подхода к решению задач выбора по многим критериям в условиях неопределенности [24, 25]:

✓ многокритериальная теория полезности (MAUT);

✓ аналитической иерархии (АИР);

✓ подход, направленный на разработку индексов попарного сравнения альтернатив (РИПСА).

Кроме того, используются упрощенные эвристические методы и методы вербального анализа решений [25].

Ниже будет дана краткая характеристика этих подходов и методов.

1. Научное направление MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*) отличаются следующие особенности [25]:

✓ аналитиками строится функция полезности, имеющая аксиоматическое обоснование;

✓ некоторые условия, определяющие форму этой функции, проверяются в диалоге с ЛПР;

✓ решаются, как правило, задачи второй группы, а полученные результаты используются для оценки заданных альтернатив.

Подход MAUT предусматривает следующие основные этапы [25]:

✓ разработку перечня критериев;  
✓ построение функции полезности по каждому из критериев;  
✓ проверку некоторых условий, определяющих вид функции полезности;

✓ построение зависимости между оценками альтернатив по частным критериям и общим качеством альтернатив (многокритериальной функции полезности);

✓ оценку всех имеющихся альтернатив и выбор лучшей из них.

К достоинствам подхода MAUT относится то, что в ее рамках разработана стройная математическая теория, позволяющая построить общую функцию полезности с учетом предпочтений ЛПР. Кроме того, полученные результаты позволяют оценить любые, в том числе и вновь появившиеся, альтернативы, так как функция полезности строится независимо от количества альтернатив.

Основных недостатка у подхода MAUT три [25]. Во-первых, предполагается, хотя и неявно, что человек может осуществлять точные числовые измерения, в то время как нет надежного способа измерения значений весовых коэффициентов частных критериев. Во-вторых, от ЛПР требуется предварительное назначение всех основных параметров, не предоставляя ему возможности исследовать проблему привычным для человека методом «проб и ошибок» и на этой основе уточнить характеристики его предпочтений. В-третьих, сложность и трудоемкость при практическом использовании. Ведь все этапы подхода MAUT необходимо выполнять для каждой из неструктуризованных проблем, являющихся уникальными, а функции полезности строятся в процессе многочасовых диалогов аналитиков с ЛПР.

2. В опубликованных трудах [25] отмечается, что для решения задач первой группы может использоваться подход аналитической иерархии. Считается, что его целесообразно применять для задач первой группы, когда альтернатив немного. При этом основной задачей является задача выделения лучшей альтернативы, в которой определена цель, критерии для оценки альтернатив и допустимые альтернативы.

Основной метод АНР разработан Т. Саати [10]. Специалисты отмечают, что этот метод возник как эвристический метод, который основывается на знаниях, опыте и здравом смысле групп

экспертов [25]. Вместе с тем, авторы метода отмечают, «что метод анализа иерархий основан на следующих аксиомах: парных сравнений и обратносимметричных отношений, гомогенной кластеризации иерархических уровней, иерархической композиции путем взвешивания и сложения и, наконец, на аксиоме ожиданий, которая отражает соответствие заложенных в иерархию элементов ожидаемым результатам. Из этих аксиом получено несколько теорем, которые превращают МАИ в математически обоснованный подход для получения шкал отношений при решении сложных проблем» [10, с. 53–54].

К достоинствам метода в работах относят его меньшую сложность и трудоемкость по сравнению с подходом MAUT при небольшом количестве альтернатив, направленность на сравнение альтернатив и ослабленность оценок альтернатив по критериям [24]. В качестве недостатков подхода АНР отмечаются [24]: введение новых альтернатив приводит к изменению величин предпочтений ранее рассматриваемых альтернатив; недостаточно обоснованный переход к числам при проведении измерений; оторванность способа объединения альтернатив от предпочтений ЛПР. Дальнейшее развитие АНР нашло воплощение в мультипликативной аналитической иерархии [25]. Подробнее методы подхода АНР будут охарактеризованы в следующей главе.

3. В рамках подхода РИПСА имеется много методов. Наиболее известно семейство методов ELECTRE. Эти методы основаны на определении для каждой пары сравниваемых по всем критериям альтернатив индекса согласия или несогласия с гипотезой, что одна из них превосходит другую по качеству. Они задумывались как чисто эвристические процедуры, но в последующем были обогащены и определенной аксиоматикой.

В подходе РИПСА выделяют два основных этапа: этап разработки; этап исследования [25].

На этапе разработки формируется решающее правило в виде одного или нескольких индексов попарного сравнения альтернатив. Индексы в большинстве методов строятся на основе принципов согласия (конкорданса) и несогласия (дискорданса) с превосходством одной альтернативы над другой.

На этапе исследования сформированные индексы используются для ранжирования заданных альтернатив.

К основным достоинствам методов ELECTRE относят [25]:

✓ поэтапное выявление предпочтений ЛПР позволяет ему на основе детального анализа сформировать свои предпочтения, определить компромиссы между критериями. В подходах MAUT и АНР неявно предполагается, что основные предпочте-

ния уже сформированы до применения методов и они могут получены от ЛПР одноактно при сравнительных оценках, назначении весов и т.п.;

✓ на веса критериев может влиять мнение группы экспертов, а не только мнение ЛПР;

✓ индексы в методах ELECTRE-3, -4 и в некоторых других родственных методах позволяют учесть неточности в данных и измерениях, производимых экспертами.

Основными недостатками подхода РИПСА являются [25]:

✓ не гарантируется выполнение двух важных методологических требований к сравнениям — их полноты и транзитивности;

✓ невысокая оперативность из-за итеративного процесса работы.

Все рассмотренные подходы к решению задач выбора в условиях неопределенности реализованы в виде компьютерных СППР [25]. Подход MAUT использован в системах *Logical Decisions* и DECAID. Подход АНР реализован в системах *Expert Choice* (основной метод) и REMBRANDT (мультипликативный метод). Разработаны несколько компьютерных систем, реализующих методы из семейства ELECTRE.

4. Методы, разработанные на основе подходов MAUT, АНР и РИПСА, относительно сложны и трудоемки, особенно семейства подхода MAUT. В этой связи появились более простые эвристические методы, которые позволяют получить приемлемые решения для ряда проблемных ситуаций. Они не имеют строгого аксиоматического обоснования и включают сравнительно простые процедуры получения и анализа информации и ее агрегирования в общие оценки альтернатив. К наиболее известным эвристическим методам относится метод SMART, разработанный В. Эдвардсом. Он включает семь этапов [25]:

1) ранжирование критериев по важности;

2) присвоение наиболее важному критерию оценки 100 баллов. Определение на основе попарного сравнения балльной оценки каждого критерия;

3) сложение баллов всех критериев. Нормирование весов критериев делением их балльных оценок на сумму баллов всех критериев;

4) определение числовых значений критериальных показателей альтернатив по шкале 0–100 баллов;

5) вычисление общей оценки каждой альтернативы по формуле взвешенной суммы (с учетом нормированных весов критериев);

6) выбор лучшей альтернативы, имеющей наибольшую общую оценку;

7) проверку чувствительности результата к изменению весов критериев, что позволяет учесть влияние неточности при измерениях и возможную зависимость между критериями.

Использованный здесь способ определения весов критериев называется методом отношений.

Недостатком метода SMART является то, что он не учитывает возможную зависимость измерений и неаддитивность при определении общей оценки альтернатив [25].

5. Для ЛПР и системных аналитиков всегда был актуальным вопрос о доброкачественности решений, выбираемых с использованием различных СППР и методов. Это обуславливается, как уже не раз отмечалось выше, тем, что решения по сложным неструктуризованным проблемам проверяются только при их практической реализации. Априорные средства для проверки отсутствуют. Естественно, реализация неудачных решений связана с временными и материальными издержками. Поэтому искались способы проверки СППР и методов на адекватность, хотя бы косвенные. Одним из таких способов является сравнение результатов обоснования решения по одной и той же проблеме различными СППР.

Так, был проведен эксперимент по сравнительной оценке СППР DECAID и *Logical Decision*, которые основывались на подходе MAUT, т.е. были родственными системами [25]. В эксперименте участвовала группа студентов американского университета «Texas A und M». Они решали сравнительно несложную проблему выбора из пяти альтернативных мест работы по четырем критериям: зарплата, местоположение, должность, возможности служебного роста. Эксперимент показал весьма примечательный эффект — связь результатов двух СППР не была статистически значима [25], т.е. использование родственных СППР одними и тем же ЛПР при решении одной и той же проблемы часто дают различные результаты.

Анализ показал, что основной причиной данного эффекта являются человеческие ошибки при переводе качественных характеристик переменных (критериев, альтернатив) в числовые величины. Ведь человеческому мышлению свойственны нечеткие, расплывчатые оценки и суждения. В то же время нет надежного, хорошо обоснованного способа перевода качественных переменных в числа. А ведь все методы остальных подходов — АНР, ELECTRE, упрощенного эвристического — тоже предусматривают использование числовых оценок переменных. Подход размытых



множеств также основан на построении экспертами числовых функций принадлежности, причем, очень сложен. Отсюда следует вывод о том, что эффект, установленный в ходе эксперимента с двумя СППР подхода МАУТ, присущ СППР и методам всех указанных подходов.

В связи с этим были разработаны методы вербального (словесного) анализа решений. Они предназначены для обоснования решений по неструктуризованным проблемам, имеющих качественное, словесное описание [25]. Качественное описание проблемы сохраняется на всех этапах ее анализа, при разработке таких методов учитываются когнитивные и психологические аспекты поведения ЛПР. Основное внимание при этом уделяется способам измерения качественных переменных с использованием качественных порядковых шкал, так как человек не может осуществлять точных измерений, построению решающего правила и проверке непротиворечивости информации и суждений ЛПР.

Сильными сторонами методов вербального анализа решений являются [25]:

1) качественный подход и измерения позволяют получить описание проблемных ситуаций, близкое к реальному;

2) формирование решающих правил основывается на тех операциях, которые ЛПР достаточно надежно выполняет. Результаты психологических исследований показали, что к таким операциям относятся: сравнение двух оценок на вербальных шкалах двух критериев; отнесение многокритериальных альтернатив к классам решений; сравнительная словесная оценка качества альтернатив по отдельным критериям;

3) при построении решающего правила учтена естественная способность ЛПР обучаться, в том числе методом проб и ошибок. Этим обеспечивается формирование предпочтений ЛПР не одновременно, а поэтапно;

4) человеку свойственно ошибаться (1–2 грубые ошибки в простых задачах на 50 ответов). В связи с этим в методах вербального анализа решений для проверки непротиворечивости информации ЛПР используются специальные (замкнутые) процедуры на ЭВМ. Они основаны на повторении одних и тех же вопросов и последующем анализе логичности мышления ЛПР;

5) возможность получения ЛПР объяснений от аналитиков в процессе анализа проблемной ситуации (почему это так, учтены ли его предпочтения и т.д.);

6) меньшая чувствительность к человеческим ошибкам по сравнению с методами других подходов.

Наиболее известными методами вербального анализа решений являются методы ЗАПРОС, ОРКЛАСС, ПАРК [25]. Сравнение результатов решения проблемы места работы с использованием СППР ЗАПРОС и двух систем подхода МАУТ в описанном выше эксперименте было в пользу СППР ЗАПРОС [25].

Из вышеизложенного следует вывод, что для анализа задач принятия решений при многих критериях в условиях неопределенности могут использоваться различные подходы и методы. Всем им присущи как достоинства, так и недостатки. Каждый из них имеет свои, зачастую перекрывающиеся области применения и типаж анализируемых проблем. Для анализа проблем специалисты-аналитики и ЛПР выбирают конкретные СППР и методы, исходя из типа решаемой проблемы, наличия или доступности СППР и методов, своей личной подготовленности и др.

Особое внимание хотелось бы обратить на методы подхода АНР — методы аналитической иерархии. Дело в том, что методы этого подхода наиболее широко применяются при проведении системно-аналитических процедур по сравнению с методами всех других рассмотренных выше подходов. Можно констатировать тот факт, что методы подхода АНР занимают исключительно важное место среди методических средств обоснования решений по неструктурированным проблемам. По этим методам проводятся международные семинары, а также исследования с целью аксиоматического их обоснования, выявления сильных и уязвимых сторон. Учитывая это обстоятельство, методы подхода аналитической иерархии, области и примеры их применения будут кратко охарактеризованы в следующей главе. Там же будут приведены аргументы, объясняющие причины популярности этих методов среди системных аналитиков.

## **Глава 9. ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ПОДХОДА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ИЕРАРХИИ**

### **9.1. Сущность и основные этапы метода анализа иерархий**

В предыдущей главе отмечалось, что в рамках подхода АНР разработаны два метода: основной метод, который назван разработчиком методом анализа иерархий [10], и его мультипликативная модификация. В этой главе будет охарактеризован метод анализа иерархий (МАИ) и приведены примеры его применения, а также отмечены основные особенности мультипликативного его варианта.

Сразу следует отметить, что данная работа не претендует на глубокое и всестороннее изложение МАИ. Это сделано его авторами в известных трудах [10]. Ее целью является краткое изложение этапов метода с акцентом на суть проводимых операций, а также показ его возможностей по решению большого числа различных по природе и масштабам неструктуризованных проблем. С учетом того, что иногда в публикуемых работах по теории принятия решений при многих критериях возможности этого метода несколько занижаются. В то же время решения таких проблем с использованием МАИ могут быть получены при сравнительно небольших финансовых затратах и затратах времени, без покупки сложных и дорогостоящих СППР. Конечно, этот метод требует высокой профессиональной и, если хотите, интеллектуальной подготовки экспертов и их творческих способностей. Если этого нет, то применить МАИ невозможно.

Метод анализа иерархий является системной процедурой для иерархического представления элементов, определяющих суть любой проблемы или задачи [10]. Он состоит в декомпозиции проблемы на все более простые составляющие части и дальней-

шей обработке последовательности суждений специалистов-экспертов по парным сравнениям этих составляющих. В результате выражается относительная степень (интенсивность) взаимодействия элементов в иерархии с точки зрения достижения поставленной цели, т.е. решения рассматриваемой проблемы. Эти суждения затем выражаются численно с использованием специальной шкалы. МАИ включает также процедуры синтеза множественных суждений, получения величин приоритетов критериев и альтернатив.

Такой подход к решению проблем основывается на двух естественных свойствах логического и творческого мышления людей: первое — умение наблюдать, выделять и анализировать явления и их свойства; второе — способность устанавливать отношения между наблюдаемыми явлениями и их свойствами, оценивая уровень взаимосвязей между отношениями, а затем синтезировать эти отношения в общее восприятие наблюдаемого. Эти признаки дают представления о принципах идентификации, декомпозиции, дискриминации и сравнительного суждения (попарных сравнений), синтезирования, на которых основывается МАИ [10].

Идентификация предполагает способность субъекта обнаружить явление, выделить присущие данному классу явлений свойства и сформулировать их отличительные признаки.

Декомпозиция представляет собой действия, позволяющие аналитику разложить сложный объект на составляющие компоненты для их индивидуального изучения.

Дискриминация и сравнительные суждения — это процесс сравнительного анализа компонентов системы по критериям важности, превосходства, предпочтительности и т.п. с установлением числовых характеристик.

Синтезированием является логическая процедура объединения характеристик компонентов системы в единое целое.

МАИ включает несколько этапов работы (как правило, итеративной) коллектива экспертов. Основными из них являются [10]:

- 1) декомпозиция решаемой проблемы в иерархию;
- 2) заполнение таблиц (матриц) попарных сравнений для всех уровней иерархического представления проблемы;
- 3) расчет и проверка согласованности локальных приоритетов для всех уровней иерархического представления проблемы;
- 4) расчет глобальных приоритетов и определение лучших (эффективных) вариантов решений и выбор из них ЛПР одного лучшего (предпочтительного) варианта решения проблемы.

Кратко рассмотрим содержание каждого из этих этапов.

## 9.2. Декомпозиция решаемой проблемы в иерархию

Существует несколько видов иерархий [10]. Самыми простыми и распространенными из них являются доминантные иерархии, которые похожи на перевернутое листовое дерево: цель—вверху, посередине—критерии, внизу—альтернативы. Холлархии — это по существу доминантные иерархии с обратной связью. Китайский ящик (или модулярные иерархии) растет от простейших элементов или компонент (внутренние ящики) ко все более крупным совокупностям (внешние ящики). Имеются и другие виды специфических иерархий. В дальнейшем внимание будет сконцентрировано на доминантных иерархиях, хотя способ их решения распространяется и на другие иерархические формы.

Некоторые положения по декомпозиции решаемой проблемы в доминантную иерархию были изложены во второй главе. При этом было отмечено, что в наиболее простом виде иерархия строится с вершины. На первом уровне обычно находится цель (с точки зрения принятия решения). На промежуточных уровнях могут находиться частные цели, частные критерии, акторы, их цели, политики, способы действий и др., от которых зависят последующие уровни. На самом нижнем уровне иерархии находится перечень альтернатив. Промежуточных уровней должно быть достаточно для корректной связи альтернатив с целью.

Иерархия считается полной, если каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня. В противном случае, иерархия является неполной. Нетрудно понять процесс определения весов в случае неполной иерархии, так как при этом используются приоритеты соответствующего элемента, по отношению к которому производится оценка [10]. Это означает, что иерархия может быть разделена на подиерархии, имеющие общий самый верхний элемент.

Степень оптимальности предложений, вырабатываемых с помощью МАИ, всецело предопределяется качеством работы привлекаемых экспертов. Вместе с тем, этот метод позволяет до минимума свести риск получения неэффективных рекомендаций, так как эксперты работают в нем единой группой, каждое свое мнение они должны обосновать аргументами и прийти к соглашению.

Самый сложным и ответственным этапом их работы является именно декомпозиция проблемы в иерархию, так как он играет решающую роль в плане получения эффективного варианта решения проблемы. При этом относительная простота трехуровневой иерархии проблемы, которая будет рассмотрена в п. 9.3, является

не более чем кажущейся. Не всегда простым делом, как было показано во второй главе, является правильное определение главной цели.

Гораздо сложнее осуществить выбор промежуточных уровней — критериев, которые должны охватить основные свойства альтернативных вариантов решения проблемы. Тем более с учетом того, что при использовании метода рекомендуется число элементов на одном промежуточном уровне иерархии выбирать в пределах 5–9. Ограничение количества элементов «сверху» девять обуславливается возможностью экспертов, как показали исследования и опыт, одновременно оценивать с приемлемым качеством важность или интенсивность влияния по отношению к достижению цели не более девяти объектов. Элементы промежуточных уровней могут характеризоваться как количественными, так и качественными показателями.

Весьма сложным представляется и формирование альтернативных вариантов решения проблемы. Это обуславливается тем, что эксперты, на основе своего опыта и знаний в проблемной области при декомпозиции проблемы в иерархию, по сути, решают задачу сужения исходного универсального множества решений до множества допустимых. При этом высокий профессионализм экспертов позволяет им не рассматривать универсальное множество, а непосредственно выработать множество допустимых решений. Как исходное универсальное множество решений, так и принцип оптимизации, выражающий условия допустимости альтернатив, в данном случае существует в сознании экспертов.

Построение качественной иерархии при решении сложных проблем является, так правило, итогом сравнительно длительных дискуссий экспертов, в результате которых иерархия может неоднократно улучшаться. Таким образом, декомпозиция проблемы в иерархию является творческим, сложным, итеративным и наиболее ответственным этапом МАИ.

### **9.3. Заполнение матриц попарных сравнений критериев и альтернатив**

Допустим, что при рассмотрении некоторой проблемы, решение которой сводится к решению задачи выбора из альтернатив, группа экспертов пришла к соглашению о декомпозиции этой проблемы в трехуровневую иерархию «цель — критерии — альтернативы», вид которой приведен на рис. 9.1.

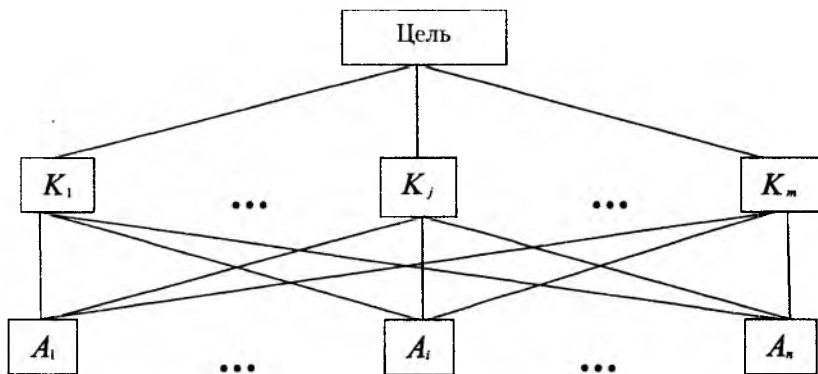


Рис. 9.1. Декомпозиция решаемой проблемы в трехуровневую иерархию

При декомпозиции проблемы в иерархию были определены два вектора-строки: критериев  $K_j, j = \overline{1, m}$  и альтернатив  $A_i, i = \overline{1, n}$ .

На данном этапе осуществляется обычно сначала заполнение матриц попарных сравнений критериев по важности между собой, а затем — альтернатив на предпочтительность по каждому критерию. Хотя, в принципе, очередность заполнения матриц попарных сравнений не имеет значения.

В результате попарных сравнений критериев формируется матрица относительной важности критериев по отношению к цели, приведенной в табл. 9.1.

Таблица 9.1

**Вид матрицы попарных сравнений критериев по важности**

Цель	$K_1$	...	$K_s$	...	$K_m$
$K_1$	1	...	$w_{1s}$	...	$w_{1m}$
...	...	...	...	...	...
$K_j$	$w_{j1}$	...	$w_{js}$	...	$w_{jm}$
...	...	...	...	...	...
$K_m$	$w_{m1}$	...	$w_{ms}$	...	1

Элементы данной матрицы представляют собой попарные отношения важности  $j$ -го и  $s$ -го критериев, которые вырабатываются экспертами и выражаются ими в числовой форме с использованием специальной шкалы относительной важности «1–9», приведенной в табл. 9.2 [10]. Подобных шкал обосновано около 28 [10]. Разработчики МАИ считают шкалу «1–9» наиболее удачной. Осо-

бенностью данной шкалы является то, что с ее помощью эксперты свои нечеткие суждения об относительной важности при попарных сравнениях элементов, находящейся в диапазоне качественных уровней столбца «Объяснение», выражают в виде чисел.

Таблица 9.2

### Шкала относительной важности МАИ

Интенсивность относительной важности	Определение	Объяснение
1	Равная важность	Равный вклад в цель
3	Умеренное превосходство одного над другим	Легкое превосходство одного над другим
5	Существенное или сильное превосходство	Сильное превосходство одного над другим
7	Значительное превосходство	Настолько сильное превосходство, что оно становится значительным
9	Очень сильное превосходство	Очевидность превосходства выражается очень сильно
2, 4, 6, 8	Промежуточные суждения	Применяются в компромиссных случаях
Обратные величины приведенных чисел	Если при сравнении первого со вторым получено, например, число 3, то при сравнении второго с первым его важность будет равна обратной величине 1/3	

Следовательно, формируется положительная квадратная матрица относительной важности критериев  $(w_{js})_{m \times m}$ , в которой элементы  $w_{js}$  представляют собой относительную важность по отношению к цели  $j$ -го критерия по сравнению с  $s$ -м в числовом виде. Полученная матрица является обратно симметричной и единичной: осью симметрии является главная диагональ, состоящая из единиц, так как на ней расположены результаты сравнения одинаковых критериев. Естественно, они имеют одинаковую важность. Остальные элементы матрицы относительно оси симметрии представляют собой обратные величины, так как определены по шкале относительной важности МАИ. При формировании данной матрицы эксперты отвечают на вопрос: что важнее? Заполнение матриц по-



парных сравнений рекомендуется авторами метода осуществлять, выбирая пары для сравнений случайным образом.

После этого формируются матрицы попарных сравнений альтернатив на предпочтительность по каждому критерию. Элементы этих матриц представляют собой попарные отношения предпочтительности альтернатив, которые также вырабатываются экспертами и выражаются ими в числовой форме по той же шкале относительной важности. Вид таких матриц для всех  $m$  критериев приведен в табл. 9.3. При этом в развернутом виде приведена матрица для первого критерия.

Таблица 9.3

**Вид матриц попарных сравнений альтернатив на предпочтительность по критериям**

Критерий	$A_1$	...	$A_r$	...	$A_n$
1	$A_1$	...	$A_r$	...	$A_n$
$A_1$	1	...	$p_{1r1}$	...	$p_{1n1}$
...	...	...	...	...	...
$A_r$	$p_{r11}$	...	$p_{rr1}$	...	$p_{rn1}$
...	...	...	...	...	...
$A_n$	$p_{n11}$	...	$p_{nr1}$	...	1

При определении предпочтительности альтернатив по критерию эксперты отвечают на вопрос: что предпочтительнее? (что желательнее?). Если сравниваются сценарии, то ответ дается на вопрос «Какой из сценариев вероятнее?»

Это означает, что для первого критерия сформирована числовая квадратная матрица  $(p_{ir1})_{n \times n}$ , в которой  $p_{ir1}$  представляет собой относительную предпочтительность  $i$ -й альтернативы над  $r$ -й по первому критерию в числовом виде. Аналогичная работа проводится для всех критериев. В результате формируется трехмерная матрица  $(p_{ijr})_{n \times n \times m}$ , в которой  $p_{ijr}$  является относительной предпочтительностью  $i$ -й альтернативы над  $j$ -й по  $r$ -му критерию.

#### 9.4. Расчет величин локальных приоритетов критериев и альтернатив и проверка согласованности матриц

Для определения величин локальных приоритетов и проверки согласованности матриц попарных сравнений важны такие понятия матричной алгебры, как собственный вектор и собственное значение матрицы [39]. Собственным вектором квадратной матри-

цы  $A$  называется такой ненулевой вектор-столбец  $x$ , при умножении на который матрицы  $A$  получается вектор-столбец, пропорциональный исходному вектору  $x$ , т.е.  $Ax = \lambda x$ . Число  $\lambda$  называется собственным значением матрицы  $A$ . Квадратная матрица  $n$ -го порядка имеет не больше  $n$  собственных значений.

Величины локальных приоритетов выражают относительное влияние множества элементов иерархии на элемент примыкающего к ним верхнего уровня, т.е. их силу, ценность, важность, предпочтительность, желательность или вероятность. Значения локальных приоритетов характеризуются компонентами максимального собственного вектора матрицы попарных сравнений. Нахождение максимальных собственных векторов матриц требует большого количества вычислений. В связи с этим авторами метода предложен при его изложении приемлемый для практики упрощенный способ расчета величин локальных приоритетов. Он заключается в вычислении нормированных средних геометрических строк матриц, с достаточной точностью характеризующих максимальные собственные вектора матриц.

Сначала обычно рассчитываются величины локальных приоритетов критериев, а затем — альтернатив. Расчеты ведутся по матрицам попарных сравнений критериев и альтернатив, сформированных на втором этапе. В результате расчета величин локальных приоритетов критериев формируется вектор  $w_j$ , составляющие которого  $w_j, j = 1, m$  определяются по формуле [10]

$$w_j = \frac{\left( \prod_{s=1}^m w_{js} \right)^{\frac{1}{m}}}{\sum_{j=1}^m \left( \prod_{s=1}^m w_{js} \right)^{\frac{1}{m}}}. \quad (9.1)$$

Из выражения (9.1) видно, что числитель представляет собой абсолютное значение величины приоритета  $j$ -го критерия, рассчитываемое как геометрическое среднее из значений его относительной важности по сравнению с другими критериями. В знаменателе формулы находится сумма абсолютных значений величин локальных приоритетов всех критериев. Это означает, что  $w_j$  является нормированным значением величины локального приоритета  $j$ -го критерия. Естественно условие, что  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ . Физическая сущность локальных приоритетов критериев означает их число-

вые коэффициенты важности или интенсивности влияния на достижение цели.

Величины локальных приоритетов каждой альтернативы рассчитываются для каждого критерия. В результате расчетов формируется матрица локальных приоритетов альтернатив для всех критериев (табл. 9.4).

Таблица 9.4

Вид матрицы локальных приоритетов альтернатив

	$K_1$	...	$K_j$	...	$K_m$
$A_1$	$p_{11}$	...	$p_{1j}$	...	$p_{1m}$
...	...	...	...	...	...
$A_i$	$p_{i1}$	...	$p_{ij}$	...	$p_{im}$
...	...	...	...	...	...
$A_n$	$p_{n1}$	...	$p_{nj}$	...	$p_{nm}$

Следовательно, формируется двухмерная матрица локальных приоритетов альтернатив  $(p_{ij})_{n \times m}$ , элементы которой рассчитываются по формуле [10]

$$p_{ij} = \frac{\left( \prod_{r=1}^n p_{rj} \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left( \prod_{r=1}^n p_{ri} \right)^{\frac{1}{n}}}. \quad (9.2)$$

Общий вид формулы (9.2) идентичен виду формулы (9.1). Это означает, что  $p_{ij}$  является нормированным значением величины локального приоритета  $i$ -й альтернативы для  $j$ -го критерия.

Естественно и условие, что  $\sum_{i=1}^n p_{ij} = 1$ . Физическая сущность локальных приоритетов альтернатив означает предпочтительность альтернатив по каждому из критериев.

При заполнении матриц попарных сравнений может нарушаться транзитивность суждений экспертов, т.е. матрицы могут оказаться недостаточно согласованными. МАИ допускает определенную степень несогласованности матриц попарных сравнений. В качестве количественных показателей согласованности используются [10]

- ✓  $\lambda_{\max}$  — наибольшее собственное значение матрицы суждений;
- ✓ ИС — индекс согласованности;

✓ ОС — отношение согласованности (общая согласованность).

Порядок их определения рассмотрим на примере расчета этих показателей для матрицы попарных сравнений критериев по важности. Определение  $\lambda_{\max}$  осуществляется при этом по формуле [10]

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^m \left[ \left( \sum_{j=1}^n w_{j,r} \right) w_j \right]. \quad (9.3)$$

Как видно из данной формулы, сначала суммируются элементы матрицы попарных сравнений по столбцам, затем элементы полученного вектора-строки умножаются на соответствующие элементы  $w_j$  вектора локальных приоритетов критериев и производится суммирование полученных произведений.

Индекс согласованности определяется по формуле [10]

$$\text{ИС} = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}. \quad (9.4)$$

Общая согласованность рассчитывается по формуле [10]

$$\text{ОС} = \frac{\text{ИС}}{\text{СС}}, \quad (9.5)$$

где СС — средняя согласованность для случайных матриц разного порядка, значения которой приведены в табл. 9.5 [10].

Таблица 9.5

### Значения средней согласованности для случайных матриц

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение СС	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Величина ОС должна быть не более 10%, а в исключительных случаях — не более 20% [10]. Если же она больше этих значений, то необходимо уточнить таблицы попарных сравнений или даже декомпозицию проблемы в иерархию.

Согласованность всей иерархии можно найти, перемножая каждый индекс согласованности на приоритет соответствующего критерия и суммируя полученные числа [10]. Результат затем делится на выражение такого же типа, но со случайным индексом согласованности, соответствующим размерам каждой взвешенной приоритетами матрицы. При этом ОС должна составлять не более 10%.

## 9.5. Синтез глобальных приоритетов и определение ЛПР лучшего (эффективного) варианта решения проблемы

Для расчета глобальных приоритетов на основе матрицы локальных приоритетов альтернатив и вектора локальных приоритетов критериев формируется матрица вида  $(p_{ij}w_j)_{n \times m}$ , элементы которой получаются умножением элементов  $p_{ij}$  матрицы локальных приоритетов альтернатив на соответствующие элементы  $w_j$  вектора-столбца локальных приоритетов критериев. По полученной матрице  $(p_{ij}w_j)_{n \times m}$  рассчитывается вектор глобальных приоритетов (общих предпочтительностей) альтернатив  $p_i$ ,  $i = 1, n$ , элементы  $p_i$  которого определяются по формуле [10]

$$p_i = \sum_{j=1}^m (p_{ij}w_j). \quad (9.6)$$

При этом  $\sum_{i=1}^n p_i = 1(100\%)$ .

Авторы метода считают, что с помощью МАИ могут быть получены, с точки зрения классической теории принятия решений, эффективные или оптимальные по Э-П решения [10]. Эффективные решения соответствуют наибольшим значениям элементов вектора глобальных приоритетов альтернатив. Из их числа ЛПР выбирает на основе своей неявной системы предпочтений одно лучшее, по его мнению, предпочтительное решение. Если имеется решение, значительно превосходящее по величине глобального приоритета остальные, то это решение, как правило, выбирается в качестве предпочтительного. Если же среди эффективных нет явно доминирующего по величине глобального приоритета варианта решения, то ЛПР выбирает из них одно лучшее решение на основе своих неявных предпочтений.

Выше было рассмотрено применение МАИ для решения задачи выбора применительно к ее декомпозиции в трехуровневую иерархию. При этом фактически был изложен порядок решения многокритериальной векторной задачи принятия решений в условиях неопределенности. Если проблема декомпозирована в многоуровневую иерархию, то порядок решения остается аналогичным. При этом матрицы попарных сравнений строятся для каждого из нижних уровней иерархии [10].

В заключение рассмотрения сущности и этапов МАИ необходимо отметить ряд моментов.

Во-первых, ограничение количества попарно сравниваемых на одном уровне элементов числом 5–9 не означает, что не может

быть учтено их большее количество. Если их больше, то применяется иерархическая декомпозиция, когда элементы группируются (в качестве первой оценки) в сравниваемые классы приблизительно из семи элементов в каждом [10]. Это позволяет решать с помощью МАИ широкий круг различных проблем, имеющих сложные и разветвленные иерархические структуры.

Во-вторых, основными принципами организации работы группы экспертов являются открытая дискуссия с обоснованием своих суждений и достижение консенсуса. Эти принципы позволяют в значительной мере уменьшить степень влияния на обоснование решения сознательной необъективности отдельных экспертов, связанной с их конъюнктурными интересами или зависимостью.

В-третьих, если соглашение не достигнуто, то целесообразно заменить экспертов. Если и другие группы экспертов не достигли консенсуса, то необходимо провести дополнительный анализ с целью выяснения причин этого. Возможно, эта проблема в настоящее время не решаема.

В-четвертых, методическое обеспечение работы группы экспертов должен осуществлять специалист-аналитик, хорошо знающий все тонкости МАИ.

Основному МАИ присущи достоинства и недостатки. О достоинствах и областях его применения речь будет вестись в следующем параграфе после краткого рассмотрения в нем особенностей мультипликативного МАИ. Этот параграф будет завершён анализом недостатков основного МАИ, которые чаще всего указываются специалистами. Анализ поможет глубже уяснить некоторые аспекты основного метода.

Так, в предыдущей главе отмечалось, что специалисты по теории принятия решений к их числу отнесли следующие недостатки: введение новых альтернатив приводит к изменению величин предпочтений ранее рассматриваемых альтернатив; недостаточно обоснованный переход к числам при проведении измерений; оторванность способа объединения альтернатив от предпочтений ЛПР. Можно называть и другие недостатки. Например, практика применения МАИ иногда показывала заметное влияние авторитетных специалистов и более высоких по рангу лиц на выработку коллективных суждений, необходимость, как уже отмечалось выше, высокой профессиональной и интеллектуальной подготовленности экспертов и др. Вместе с тем знание сути МАИ позволяет высказать ряд комментариев по некоторым из указанных недостатков.

1. Изменение величин приоритетов при введении новых альтернатив (увеличении их числа) естественно, так как величины приоритетов альтернатив нормированы и в сумме равны единице. Плохо, если при этом изменяется соотношение величин приоритетов альтернатив, что может привести к ошибке в выборе лучшей альтернативы. Здесь хотелось бы акцентировать внимание на причину этого возможного негативного явления. Оно является следствием ошибок человеческих измерений, прежде всего, петранзитивность суждений экспертов при заполнении матриц попарных сравнений альтернатив. Поэтому надо использовать экспертов, способных обучаться в процессе применения МАИ и мыслить при выработке суждений логически правильно.

2. В отношении недостаточной обоснованности перехода от качественных оценок к числам при проведении измерений, то она, несомненно, присутствует. Впрочем, как и для методов семейств MAUT и ELECTRE, а также упрощенных эвристических методов. Убедительная аргументация в пользу этого была приведена в предыдущей главе. Одна из попыток улучшить этот переход будет рассмотрена в следующем параграфе при характеристике особенностей мультипликативного варианта МАИ.

3. Оторванность способа объединения альтернатив от предпочтений ЛПР в МАИ, несомненно, присутствует. Более того, неструктуризованные проблемы, как правило, настолько сложны, что их может анализировать только группа подготовленных экспертов, способных охватить все основные аспекты проблемы. В этом состоит одна из положительных сторон метода. По самой сути МАИ ЛПР может не участвовать в процедурах анализа. Его роль, как было отмечено выше, может заключаться только в изучении глобальных приоритетов альтернатив и выборе на основе своих неявных предпочтений лучшей альтернативы. Поэтому ЛПР оказывается несколько отстраненным не только от способа объединения альтернатив, но и от основных процедур анализа. Однако эта отстраненность ЛПР может быть в значительной мере преодолена. Например, участием ЛПР в работе группы экспертов на правах полноправного ее участника. Это даст ему возможность в определенной мере «вложить» свою систему предпочтений в процесс выбора альтернатив. Конечно, это реализуемо только при высокой личной подготовке ЛПР, т.е. он должен быть подготовленным на уровне эксперта.

## 9.6. Особенности мультипликативного МАИ. Достоинства и области применения МАИ

Мультипликативный МАИ предложен профессором Ф. Лустмой. Он является модернизированным вариантом основного метода аналитической иерархии. Модернизация была проведена в основном по двум направлениям [25]: разработка более обоснованного перевода вербальных сравнительных измерений в числовые величины и использование более совершенного способа агрегирования оценок при определении общих (глобальных) приоритетов альтернатив.

Для перевода качественных вербальных измерений в числа вместо шкалы «1–9» была обоснована геометрическая шкала относительной важности. Обоснования данной шкалы основывались на изучении психологических аспектов поведения людей при сравнительных измерениях. В частности, были использованы положения психофизики о том, как человек осуществляет без приборов субъективные измерения физических величин: веса, громкости звука, яркости света и др.

По вопросу более совершенного способа определения глобальных приоритетов альтернатив разработчики метода считают, что если эксперты определяют не абсолютные значения, а отношения двух элементов, то более логично перемножать такие отношения, чем суммировать значения, полученные из сравнений [25]. Определение величин глобальных приоритетов альтернатив в методе осуществляется по мультипликативной формуле [25]

$$p_i = \prod_{j=1}^m p_{ij}^{\alpha_j}. \quad (9.7)$$

Надо отметить, что порядок определения значений локальных приоритетов альтернатив  $p_{ij}$  и коэффициентов относительной важности критериев в этой формуле имеет отличия по сравнению с основным МАИ. Особенности этапов мультипликативного МАИ в данной работе рассматриваться не будут. Их можно изучить при необходимости по другим источникам [25].

Решение одинаковой неструктуризированной задачи выбора места аэропорта показали, что основной и мультипликативный МАИ дают очень близкие результаты [25].

Как отмечалось в п. 8.2, специалисты по теории принятия решений считают, что МАИ используется для решения задач первой группы: выбора из допустимых альтернатив (основная задача), ранжирования и сортировки альтернатив. Необходимым условием использования метода считается небольшое количество альтерна-



тив. С учетом этих утверждений будут рассмотрены достоинства и области применения МАИ.

1. Методы подходов MAUT и ELECTRE предусматривают использование не иерархического, векторного критерия, состоящего из некоторого числа частных критериев. Это означает, что частные критерии соизмеримы по важности, находятся между собой в связях согласования. В таких же отношениях и связях находятся свойства альтернатив, факторы внешней среды и ограничения, которые учитываются критериями. Вместе с тем, как уже отмечалось в пп. 2.5 и 3.1, одна из центральных идей системной философии — иерархизация — является общенаучной, отражает одну из важнейших сторон действительности, любых систем. В силу этого очень часто качество объектов представляется в виде иерархии свойств различных уровней, иерархичны и факторы внешней среды и ограничений. Следовательно, существует очень много неструктуризованных проблем, в декомпозициях которых общие критерии должны представляться в иерархическом виде. Отсюда значимость и популярность МАИ, который предназначен для анализа в основном именно таких проблем.

2. Основное ограничение на решение задач выбора в условиях неструктуризованной неопределенности обуславливается, как отмечалось в п. 9.2, допустимым наличием на всех уровнях иерархии проблемы, кроме высшего — цели, не более чем 5–9 элементов. Выполнение данного требования для промежуточных уровней может осуществляться, как было оговорено в предыдущем параграфе, группированием элементов. Если это сделать не удалось, то МАИ применять нельзя.

3. С помощью МАИ определяются величины приоритетов всех анализируемых допустимых альтернатив. Это означает, что фактически осуществляется их ранжирование. Задача выбора решается ЛПР путем сравнения числовых величин приоритетов, характеризующих привлекательность альтернатив, и выбором лучшей, по его мнению, альтернативы. Задача сортировки решается переходом от порядковой шкалы к шкале номинальной. При этом сортировка является качественной, так как получается переходом от более совершенной шкалы к шкале менее совершенной.

4. Утверждение о пригодности МАИ для анализа только небольшого количества альтернатив верно, если иметь в виду одноразовое его применение. Дело в том, что имеется способ сравнительной оценки большого их числа. Он заключается в организации итеративного процесса, когда определение глобальных приоритетов

альтернатив осуществляется в нескольких циклах. В первом цикле оцениваются приоритеты выборки из 5–9 альтернатив. В последующем цикле в новую выборку включаются две альтернативы с уже известными величинами приоритетов, и проводится определение величин приоритетов всех альтернатив в сформированной выборке. Величины приоритетов новых альтернатив в выборке умножаются на поправочный коэффициент, обеспечивающий согласованность значений приоритетов этих альтернатив с величинами приоритетов альтернатив предыдущей выборки. Поправочный коэффициент равен отношению усредненных величин приоритетов двух альтернатив, определенных соответственно в предыдущей и последующей выборках. Усреднение величин приоритетов альтернатив может осуществляться, например, расчетом среднего геометрического. Об организации подобного итеративного процесса оценки альтернатив подробней речь будет вестись в одиннадцатой главе. Конечно, увеличивается объем работы, но снимаются какие-либо ограничения на количество альтернатив.

5. С помощью метода анализа иерархий решаются и квалиметрические задачи. Если при оценке объектов по качеству реализуется концепция пригодности, то альтернативами являются исследуемые и базовый объекты. Промежуточные уровни—критерии охватывают основные свойства объектов. Величины приоритетов объектов представляют собой показатели их уровня качества относительно друг друга. По соотношению величин приоритетов принимается решение о пригодности исследуемого объекта.

Оценивание качества объектов при реализации концепции превосходства осуществляется аналогично. Только альтернативами являются все исследуемые объекты. В число альтернатив, как было отмечено в третьей главе, может включаться и базовый объект.

Следует отметить, что оценивание качества объектов по всем трем концепциям завершается принятием решения о качестве объекта. При этом квалиметрические задачи можно рассматривать как особый случай задачи выбора теории принятия решений. Особенность данной задачи состоит в том, что исследуемые альтернативы могут не охватывать всего множества допустимых вариантов, как это должно быть в классической задаче выбора. Важным же является то, что достоверность принимаемых решений об уровне качества исследуемых объектов с использованием МАИ характеризуется оптимальностью по Э–П.

6. Значительный интерес представляет собой вариант использования МАИ для планирования, который предложен его авторами [10]. В этом варианте планирование включает два тесно свя-

занных процесса: прогнозирование вероятного (логического) будущего и определение желаемого будущего с выбором рациональных способов действий (по терминологии авторов метода — политик) для его достижения. Рассмотрим, как осуществляется планирование с использованием МАИ. Оно основывается на двух иерархических процессах — прямом и обратном [10].

Иерархия прямого процесса может включать следующие уровни [10]:

- ✓ первый — цель (фокус);
- ✓ второй — различные факторы (экономические, политические, социальные, культурные, технологические, экологические и др.);
- ✓ третий — акторы (иногда они включаются во второй уровень);
- ✓ четвертый — цели акторов;
- ✓ пятый — политики акторов;
- ✓ шестой — возможные сценарии или исходы, за которые борется каждый актор, реализуя свои цели;
- ✓ седьмой — обобщенный сценарий (исход), представляющий собой логический исход, обусловленный тенденциями развития системы.

Иерархия обратного процесса может включать следующие уровни [10]:

- ✓ первый — цель;
- ✓ второй — желаемые сценарии акторов;
- ✓ третий — перечень проблем и ситуаций, которые могут воспрепятствовать реализации сценариев;
- ✓ четвертый — акторы, которые могут повлиять на решение проблемы;
- ✓ пятый — цели этих акторов;
- ✓ шестой — политики этих акторов;
- ✓ седьмой — политики (или изменения в целях) отдельного актора, которые могут воздействовать на реализацию желаемых будущих состояний.

Уровни и их количество каждый раз выбираются с учетом особенностей решения конкретной проблемы.

Планирование представляет собой итеративный процесс, объединяющий прямой и обратный процессы, которые проводятся с использованием МАИ. В результате прямого процесса определяется обобщенный сценарий или логический (вероятный) исход. На основе анализа обобщенного сценария формируется желаемый сценарий или исход. Затем проводится обратный процесс, который начинается с желаемого сценария и позволяет определить политики

управления, с помощью которых можно реализовать желаемый сценарий. Наиболее важные политики, выявленные при осуществлении обратного процесса, включаются в иерархию прямого процесса. Повторным проведением прямого процесса снова прогнозируется обобщенный сценарий и проверяется его сходимость с желаемым сценарием. Желаемый сценарий модифицируется, уточняются политики управления, и проводится повторный обратный процесс. В результате нескольких итераций прямого и обратного процессов добиваются максимально возможной сходимости обобщенного и желаемого сценариев и определяются рациональные политики управления для достижения желаемого исхода.

7. Методы подхода аналитической иерархии сравнительно доступны и дешевы, так как их можно реализовать при анализе ряда проблем даже при использовании в качестве вычислительного средства обычного калькулятора. И не надо приобретать сравнительно дорогостоящие СППР.

В заключение необходимо подчеркнуть, что МАИ широко применялся и применяется во многих странах для решения широкого круга проблем в самых различных сферах деятельности — в экономике, политике, опытно-конструкторских разработках, военной сфере и др. [10]. В следующих параграфах данной главы будут приведены некоторые примеры его использования при обосновании решений по проблемам различных уровней.

## **9.7. Пример использования МАИ для решения проблемы объединения войск ПВО и ВВС**

В середине 90-х годов прошлого столетия в Республике Беларусь остро стоял вопрос о реформировании Вооруженных Сил и научном обосновании решения связанных с ним основных проблем. При этом важное практическое значение имел вопрос о том, в каком виде иметь Войска ПВО и ВВС, которые по традиции бывшего СССР на то время являлись самостоятельными видами Вооруженных Сил. Автором данной работы было предложено использовать МАИ для выработки рационального варианта решения этой проблемы. Предварительно была осуществлена ее декомпозиция в иерархию и проведены предварительные расчеты приоритетов сформированных альтернатив. Автор входил в группу экспертов и осуществлял методическое руководство работой группы в роли специалиста по применению МАИ.

Утвержденная группой экспертов декомпозиция решаемой проблемы в иерархию приведена на рис. 9.2.

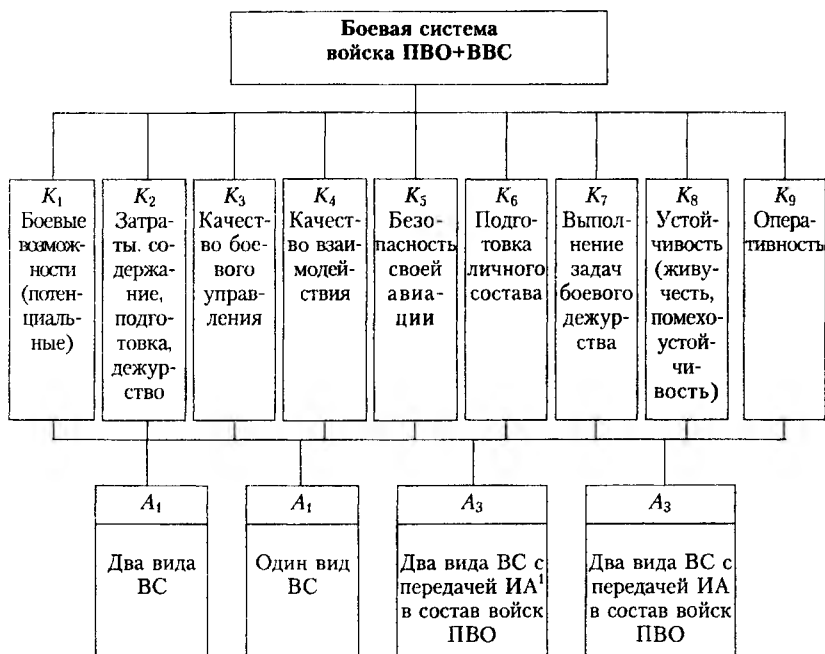


Рис. 9.2. Декомпозиция проблемы выбора варианта боевой системы войска ПВО+ВВС в иерархию

Целью исследования был выбор рационального варианта боевой системы войска ПВО+ВВС.

Всего было сформировано четыре допустимых альтернативы этой боевой системы:

$A_1$  — иметь в боевой системе два вида Вооруженных Сил (существующий на то время вариант);

$A_2$  — объединить войска ПВО и ВВС в один вид;

$A_3$  — иметь два вида, истребительную авиацию передать в состав Войск ПВО (вариант, существовавший в бывшем СССР);

$A_4$  — иметь два вида, истребительную авиацию оставить в ВВС (для удобства и удешевления содержания, ремонта и обслуживания), но оперативно подчинить войскам ПВО.

Для оценки важности и привлекательности альтернатив были использованы девять критериев, показанных на рис. 9.2. Обоснование включения именно данных критериев в иерархию проблемы обосновываться в работе не будет. Это обусловлено тем, что они сформулированы на основе терминологии и теоретических поло-

<sup>1</sup> ИА — истребительная авиация.

жений, которые для специалистов понятны и в дополнительных пояснениях не нуждаются, а для широкого круга читателей особого интереса не представляют.

Матрица попарных сравнений критериев на относительную важность приведена в табл. 9.6. Матрицы попарных сравнений альтернатив на предпочтительность или привлекательность по девяти выбранным критериям приведены в табл. 9.7–9.15. При этом матрица попарных сравнений альтернатив по первому критерию — потенциальным боевым возможностям — содержит одни единицы. Это обусловлено тем, что боевой состав для всех вариантов был принят одинаков: боевой состав существующих на то время войск. Включение потенциальных боевых возможностей в качестве одного из критериев было осуществлено в связи с тем, что не исключались альтернативы с различным боевым составом. В том числе в ходе дальнейших исследований.

Таблица 9.6

**Матрица попарных сравнений критериев по важности**

Общее удовлетворение боевой системой	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$
$K_1$ — боевые возможности (потенциальные)	1	4	1	2	3	5	1	3	2
$K_2$ — затраты	1/4	1	1/4	1/3	1/2	1/2	1/4	1/2	1/2
$K_3$ — качество боевого управления	1	4	1	2	3	5	1	3	2
$K_4$ — качество взаимодействия	1/2	3	1/2	1	2	3	1/2	2	1
$K_5$ — безопасность своей авиации	1/3	2	1/3	1/2	1	2	1/3	1	1/2
$K_6$ — подготовка личного состава	1/5	2	1/3	1/2	1	2	1/3	1	1/2
$K_7$ — выполнение задач боевого дежурства	1	4	1	2	3	5	1	3	2
$K_8$ — устойчивость	1/3	2	1/3	1/2	1	3	1/3	1	1/2
$K_9$ — оперативность	1/2	2	1/2	1	2	3	1/2	2	1

ОС = 1,52%

Результаты расчетов глобальных приоритетов альтернатив отображены на рис. 9.3. Из них следует, что величина приоритета лучшей по значимости альтернативы  $A_2$  — объединения войск ПВО и ВВС в один вид — превысила почти в 2,3 раза величину приоритета второй по значимости альтернативы  $A_3$ . Примечательно, что

вариант объединения войск ПВО и ВВС в один вид, по мнению группы экспертов, имел значительное преимущество над другими вариантами по таким важным критериям, как качество боевого управления, безопасность своей авиации, выполнение задач боевого дежурства и оперативность решения различных задач. Умеренное превосходство лучшего варианта было отмечено по затратам и возможность достижения более высокого уровня подготовки личного состава. Следует отметить, что при проведении предварительного анализа вторая альтернатива также всегда имела значительное преимущество над остальными. Однако это преимущество было несколько меньшим по сравнению с мнением экспертов.

Таблица 9.7

**Матрица попарных сравнений альтернатив по первому критерию**

$K_1$ - боевые возможности (потенциальные)	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1	1	1	1
$A_2$	1	1	1	1
$A_3$	1	1	1	1
$A_4$	1	1	1	1

ОС = 0,00%

Таблица 9.8

**Матрица попарных сравнений альтернатив по второму критерию**

$K_2$ - затраты	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1	1/3	1/2	1
$A_2$	3	1	2	3
$A_3$	2	1/2	1	2
$A_4$	1	1/3	1/2	1

ОС = 0,49%

Таблица 9.9

**Матрица попарных сравнений альтернатив по третьему критерию**

$K_3$ - качество боевого управления	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1	1/7	1/2	1
$A_2$	7	1	5	7
$A_3$	2	1/5	1	2
$A_4$	1	1/7	1/2	1

ОС = 1,17%

Таблица 9.10

**Матрица попарных сравнений альтернатив  
по четвертому критерию**

$K_4$ – качество взаимодействия	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1	1/7	1/2	1
$A_2$	7	1	5	7
$A_3$	2	1/5	1	2
$A_4$	1	1/7	1/2	1

ОС = 1,17%

Таблица 9.11

**Матрица попарных сравнений альтернатив по пятому критерию**

$K_5$ – безопасность своей авиации	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1	1/7	1/3	1/2
$A_2$	7	1	5	6
$A_3$	3	1/5	1	2
$A_4$	2	1/6	1/2	1

ОС = 5,05%

Таблица 9.12

**Матрица попарных сравнений альтернатив  
по шестому критерию**

$K_6$ – подготовка личного состава	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1	1/3	1/2	1
$A_2$	3	1	2	3
$A_3$	2	1/2	1	2
$A_4$	1	1/3	1/2	1

ОС = 0,49%

Таблица 9.13

**Матрица попарных сравнений альтернатив по седьмому критерию**

$K_7$ – выполнение задач боевого дежурства	$A_2$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_2$	1	1/7	1/5	1/2
$A_2$	7	1	3	5
$A_3$	5	1/3	1	3
$A_4$	2	1/5	1/3	1

ОС = 4,13%



Таблица 9.14

**Матрица попарных сравнений альтернатив  
по восьмому критерию**

$K_8$ – устойчивость (живучесть, по- мехоустойчивость)	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1	3	2	1
$A_2$	1/3	1	1/2	1/3
$A_3$	1/2	2	1	1/2
$A_4$	1	3	2	1

ОС = 0,45%

Таблица 9.15

**Матрица попарных сравнений альтернатив  
по девятому критерию**

$K_9$ – оперативность	$A_1$	$A_3$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1	1/5	1/3	1/2
$A_3$	5	1	3	4
$A_3$	3	1/3	1	2
$A_4$	2	1/4	1/2	1

ОС = 2,74%

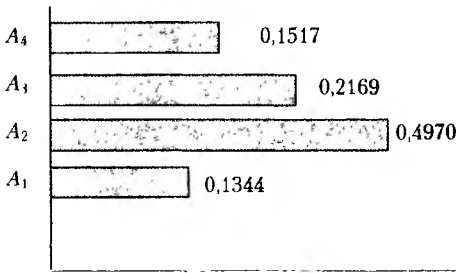


Рис. 9.3. Величина приоритетов альтернатив

Результаты проведенного анализа, конечно, имели не только сторонников, но и противников. Ведь и у лучшего варианта всегда имеются недостатки.

Были организованы и проведены дополнительные экспертизы, прежде всего противниками такой реорганизации. После них большинство противников убедились в объективности выводов и рекомендаций группы экспертов, так как в оценке важности аль-

тернатив по каждому из критериев ошибиться довольно сложно. Да и опыт подавляющего большинства стран мира свидетельствовал в пользу объединения двух этих компонентов Вооруженных Сил. В результате решение было принято и в ходе реформирования войска ПВО и ВВС Беларуси стали одним видом.

### **9.8. Пример использования МАИ для выбора варианта научно-исследовательского учреждения**

С обретением Республикой Беларусь независимости вопрос о создании эффективной системы поддержания военных наук и научного обеспечения оборонного строительства стал чрезвычайно актуальным и поднимался неоднократно. При этом первоначально рассматривался в качестве основного и был реализован такой вариант системы, который предусматривал создание на первом этапе, с учетом трудностей с финансированием, в составе Военной академии (ВА) специального научно-исследовательского подразделения — военно-научного центра (ВНЦ). В перспективе, когда ослабнет финансовый «пресс», предполагалось рассмотреть вопрос о создании научно-исследовательского института (НИИ) Вооруженных Сил. В 2001 г. решение о создании института было принято, и прорабатывались конкретная организационно-штатная структура, роль и место этого учреждения.

В этой связи исключительную актуальность имело обоснование рационального варианта данного научно-исследовательского учреждения и общей численности его сотрудников. По данным вопросам по инициативе автора небольшой группой специалистов ВНЦ академии была проведена экспертиза с использованием метода анализа иерархий. В ее ходе выяснилось, что для решения подобной проблемы, являющейся пеструктуризированной проблемой, также вполне достаточно ее трехуровневое иерархическое представление «цель—критерии—альтернативы», приведенное на рис. 9.4. Выбранные критерии в достаточной мере охватили основные свойства учреждения, т.е. качество, рассматриваемые с точки зрения его целевого назначения.

Для оценки по критериям были сформированы семь вариантов научно-исследовательского учреждения, которые охватили все основные допустимые альтернативы. Альтернативы отличаются друг от друга количественным составом сотрудников и местом в структуре системы военно-научных исследований.

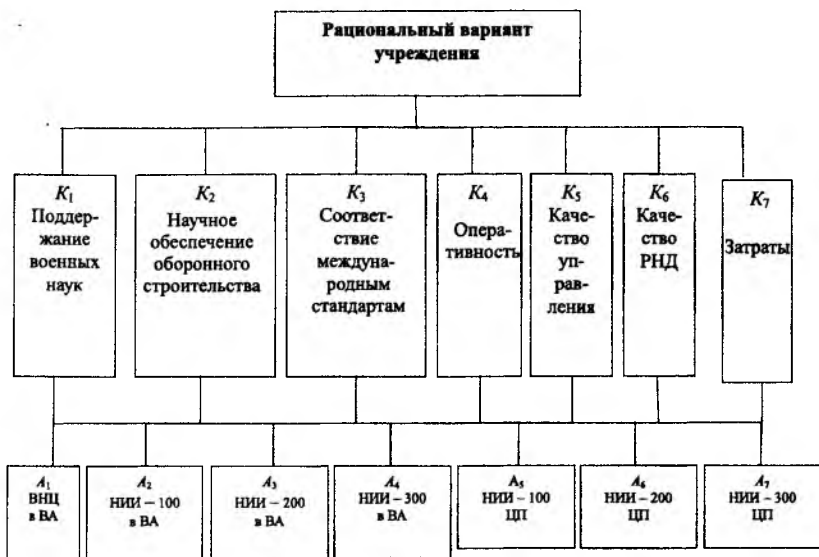


Рис. 9.4. Декомпозиция проблемы выбора варианта научно-исследовательского учреждения в иерархию

Первая альтернатива — существующий вариант, т.е. ВНЦ в структуре Военной академии.

Вторая альтернатива — НИИ с численностью сотрудников около 100 человек также в составе ВА.

Третья и четвертая альтернативы аналогичны второй, но с численностью сотрудников соответственно около 200 и 300 человек.

Пятая альтернатива — НИИ с числом сотрудников около 100 человек центрального подчинения (ЦП).

Шестая и седьмая альтернативы аналогичны, но с числом сотрудников соответственно около 200 и 300 человек.

Выбранные критерии, по мнению экспертов, в достаточной мере охватывают основные свойства исследуемого научно-исследовательского учреждения, т.е. качество, оцениваемое с точки зрения его целевого назначения. Ниже будут приведены краткие комментарии, отражающие самую основную аргументацию по причинам, обусловившим выбор этих критериев.

Одной из важных функций научно-исследовательского учреждения несомненно является поддержание системы военных наук совместно с другими научно-исследовательскими организациями и подразделениями. Поэтому в качестве первого критерия

рия для оценки вариантов была выбрана способность поддерживать военные науки, вернее ту их часть, за которую будет отвечать данное учреждение.

Поддержание военных наук не является самоцелью, так как одной из самых главных задач крупного научно-исследовательского учреждения в Республике Беларусь представляется научное обеспечение оборонного строительства, прежде всего научная поддержка принимаемых в данной сфере решений. Отсюда второй и весьма важный критерий для оценки качества вариантов — способность осуществлять научное обеспечение оборонного строительства в республике.

Мировое сообщество накопило значительный опыт по всем основным вопросам военного строительства, отражающий закономерности развития этой сложной сферы жизнедеятельности общества и государства. Это обстоятельство обусловило необходимость соизмерения всех предпринимаемых шагов в Республике Беларусь по оборонному строительству с мировым опытом. Поэтому в качестве третьего критерия выделено соответствие рассматриваемых вариантов международным стандартам.

При научном обеспечении оборонного строительства существенную роль играет временной фактор, что обусловило выбор такого следующего критерия, каким является оперативность решения научных и практических проблем и задач учреждением.

Научно-исследовательское учреждение, являясь важным компонентом в системе военно-научных исследований, занимая в ее структуре различное место, существенно влияет и на качество управления этой системой. Это влияние сказывается, прежде всего, на корректности прогнозирования направлений развития военного дела, постановке актуальных проблем и задач военной теории и практики, обоснованности и направленности планов научно-исследовательской и военно-научной работы. В этой связи в качестве пятого критерия было определено качество управления (координации) военно-научными исследованиями.

Различные по составу научных сотрудников учреждения могут получать и различные по качеству результаты научной деятельности (РНД). Отсюда шестой критерий — качество РНД.

Несомненно, что разные по количественному составу сотрудников и месту и роли в системе военно-научных исследований учреждения требуют неодинаковых финансовых затрат. Поэтому последним, но отнюдь не по значимости, критерием выбрана стоимость вариантов.

После декомпозиции задачи в иерархию была заполнена матрица попарных сравнений выбранных критериев по важности

(табл. 9.16) и матрицы попарных сравнений сформированных вариантов на предпочтительность по каждому из семи критериев (см. табл. 9.16–9.23) с использованием шкалы «1–9» МАИ.

Таблица 9.16

**Матрица попарных сравнений критериев по важности**

Цель	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub> (1-й вариант)			
								K <sub>7</sub> (2-й вариант)	K <sub>7</sub> (3-й вариант)	K <sub>7</sub> (4-й вариант)
K <sub>1</sub> – поддержание военных наук	1	1/2	1/2	1	2	1	1/6	1/4	1/2	2
K <sub>2</sub> – обеспечение военного строительства	2	1	1	2	3	2	1/5	1/3	1	3
K <sub>3</sub> – соответствие между народным стандартам	2	1	1	2	3	2	1/5	1/3	1	3
K <sub>4</sub> – оперативность	1	1/2	1/2	1	2	1	1/6	1/4	1/2	2
K <sub>5</sub> – качество управления	1/2	1/3	1/3	1/2	1	1/2	1/7	1/5	1/3	1
K <sub>6</sub> – качество РНД	1	1/2	1/2	1	2	1	1/6	1/4	1/2	2
K <sub>7</sub> – стоимость (1-й вариант)	6	5	5	6	7	6	1			
K <sub>7</sub> (2-й вариант)	4	3	3	4	5	4				
K <sub>7</sub> (3-й вариант)	2	1	1	2	3	2				
K <sub>7</sub> (4-й вариант)	1/2	1/3	1/3	1/2	1	1/2				

$OC_1 = 1,90\%$      $OC_2 = 1,24\%$      $OC_3 = 0,22\%$      $OC_4 = 0,30\%$

Таблица 9.17

**Матрица попарных сравнений вариантов на предпочтительность по первому критерию**

$K_1$ Поддержание военных наук	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$
$A_1$	1	1/2	1/3	1/4	1/2	1/3	1/4
$A_2$	2	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3
$A_3$	3	2	1	1/2	2	1	1/2
$A_4$	4	3	2	1	3	2	1
$A_5$	2	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3
$A_6$	3	2	1	1/2	2	1	1/2
$A_7$	4	3	2	1	3	2	1

ОС = 0,73%

Таблица 9.18

**Матрица попарных сравнений вариантов на предпочтительность повторному критерию**

$K_2$ Научное обеспече- ние военного строительства	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$
$A_1$	1	1/2	1/3	1/4	1/3	1/4	1/5
$A_2$	2	1	1/2	1/3	1/2	1/3	1/4
$A_3$	3	2	1	1/2	1	1/2	1/3
$A_4$	4	3	2	1	2	1	1/2
$A_5$	3	2	1	1/2	1	1/2	1/3
$A_6$	4	3	2	1	2	1	1/2
$A_7$	5	4	3	2	3	2	1

ОС = 1,23%

Таблица 9.19

**Матрица попарных сравнений вариантов на предпочтительность по третьему критерию**

$K_3$ Соответствие международным стандартам	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$
$A_1$	1	1/3	1/5	1/2	1/4	1/6	1/3
$A_2$	3	1	1/3	2	1/2	1/4	1
$A_3$	5	3	1	4	2	1/2	4
$A_4$	2	1/2	1/4	1	1/3	1/5	1/2
$A_5$	4	2	1/2	3	1	1/3	2
$A_6$	6	4	2	5	3	1	4
$A_7$	3	1	1/4	2	1/2	1/4	1

ОС = 2,64%

Таблица 9.20

**Матрица попарных сравнений вариантов на предпочтительность по четвертому критерию**

$K_4$ Оперативность	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$
$A_1$	1	1/2	1/3	1/4	1/3	1/4	1/5
$A_2$	2	1	1/2	1/3	1/2	1/3	1/4
$A_3$	3	2	1	1/2	1	1/2	1/3
$A_4$	4	3	2	1	2	1	1/2
$A_5$	3	2	1	1/2	1	1/2	1/3
$A_6$	4	3	2	1	2	1	1/2
$A_7$	5	4	3	2	3	2	1

ОС = 1,23%

Таблица 9.21

**Матрица попарных сравнений вариантов на предпочтительность по пятому критерию**

$K_5$ Качество управления	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$
$A_1$	1	1	1	1	1/3	1/3	1/3
$A_2$	1	1	1	1	1/3	1/3	1/3
$A_3$	1	1	1	1	1/3	1/3	1/3
$A_4$	1	1	1	1	1/3	1/3	1/3
$A_5$	3	3	3	3	1	1	1
$A_6$	3	3	3	3	1	1	1
$A_7$	3	3	3	3	1	1	1

ОС = 0,00%

Таблица 9.22

**Матрица попарных сравнений вариантов на предпочтительность по шестому критерию**

$K_6$ Качество РНД	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$
$A_1$	1	1/2	1/3	1/4	1/2	1/3	1/4
$A_2$	2	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3
$A_3$	3	2	1	1/2	2	1	1/2
$A_4$	4	3	2	1	3	2	1
$A_5$	2	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3
$A_6$	3	2	1	1/2	2	1	1/2
$A_7$	4	3	2	1	3	2	1

ОС = 0,73%



**Матрица попарных сравнений вариантов на предпочтительность по седьмому критерию**

$K_7$ Стоимость	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$
$A_1$	1	3	4	6	4	5	7
$A_2$	1/3	1	2	4	2	3	5
$A_3$	1/4	1/2	1	3	1	2	4
$A_4$	1/6	1/4	1/3	1	1/3	1/2	2
$A_5$	1/4	1/2	1	3	1	2	4
$A_6$	1/5	1/3	1/2	2	1/2	1	3
$A_7$	1/7	1/5	1/4	1/2	1/4	1/3	1

$$OC = 3,10\%$$

Из данных табл. 9.16 видно, что наибольший «вес» имеют второй и третий критерии. Важность седьмого критерия рассмотрена по четырем вариантам ее величины по отношению ко второму и третьему критериям: первый вариант — стоимость имеет сильное превосходство по важности над вторым и третьим критериями (цифра 5 по шкале «1–9» МАИ); второй — превосходство стоимости над этими критериями умеренное (цифра 3 по шкале «1–9»); третий — равная важность стоимости с важностью второго и третьего критериев (цифра 1); четвертый — умеренная уступка стоимости по важности второму и третьему критериям (цифра 1/3). Рассмотрение нескольких градаций критерия стоимости имеет принципиальный характер. Это обусловлено тем, что сложные проблемы практически всегда решаются в условиях довольно жестких экономических и финансовых ограничений. Если бы этих ограничений не существовало, то решение таких проблем было бы, как правило, тривиально, по принципу «чем больше, тем лучше».

Рассчитанные величины приоритетов выбранных вариантов научно-исследовательского учреждения показаны на рис. 9.5–9.8.

Из приведенных рисунков можно сделать следующие выводы:

✓ при сильном и умеренном превосходстве по важности стоимости над вторым и третьим критериями наибольший приоритет у первой альтернативы, т.е. ВНЦ в составе ВА, но при умеренном превосходстве стоимости близок по величине приоритета к нему шестой вариант — военный НИИ ЦП в составе около 200 сотрудников;

✓ при равенстве по важности стоимости со вторым и третьим критериями наибольший приоритет у шестой альтернативы, приоритет первого варианта резко падает;

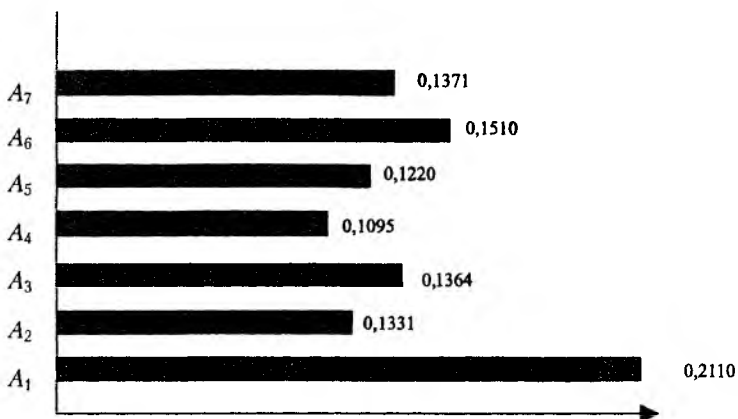


Рис. 9.5. Величина приоритетов вариантов при сильном превосходстве по важности стоимости над вторым и третьим критериями

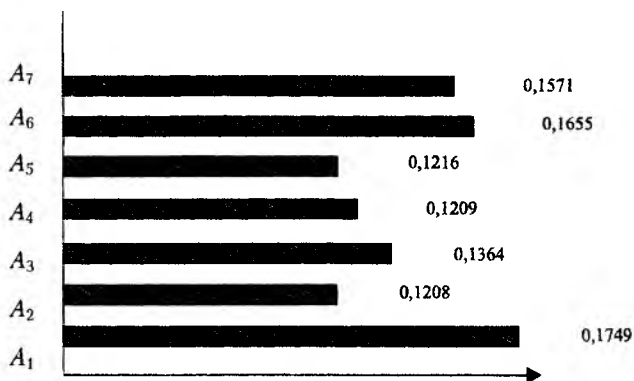


Рис. 9.6. Величина приоритетов вариантов при умеренном превосходстве по важности стоимости над вторым и третьим критериями

✓ в том случае, когда стоимость не играет значительной роли (по важности уступает фактически всем остальным критериям) наибольший приоритет закономерно принадлежит седьмой альтернативе — военному НИИ ЦП с числом сотрудников около 300 человек, но ему уступает по приоритету шестой вариант незначительно.

Из данного анализа следует, что наиболее рациональным вариантом научно-исследовательского учреждения на время, когда величину важности стоимости можно считать находящейся в

пределах от умеренного превосходства над вторым и третьим критериями до равновеликости, является, по результатам экспертизы, НИИ центрального подчинения в составе около 200 сотрудников.

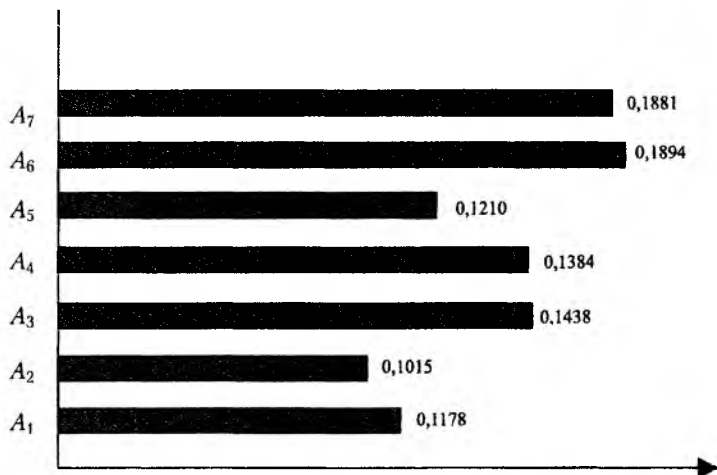


Рис. 9.7. Величина приоритетов вариантов при равной важности стоимости второго и третьего критериев

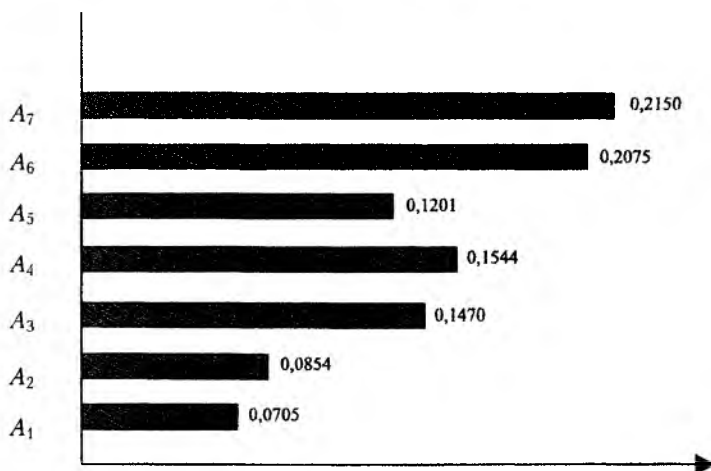


Рис. 9.8. Величина приоритетов вариантов при умеренном превосходстве по важности второго и третьего критериев

Характерной особенностью этой задачи является то, что в ней изменялась относительная важность первого, второго и седьмого критериев в соответствии с ожидаемыми сценариями развития ситуации. Это характеризует такую возможность МАИ, как определение возможного характера корректировки решений по сложным проблемам на основе прогнозирования направлений их развития за определенный период времени.

## **9.9. Применение МАИ для решения некоторых частных неструктуризованных проблем**

Во второй главе отмечалось, что в одном из вузов г. Минска на практических занятиях по программе бакалаврской подготовки студентами-выпускниками решались неструктуризованные проблемы. Автором для решения были предложены две проблемы: выбор места работы и спутника жизни. Автор остановился именно на этих проблемах не случайно, так как они для выпускников были актуальными. Ведь после получения диплома, несомненно, центральным для них становился вопрос о трудоустройстве. Подавляющее большинство студентов не имели семей и находились в возрасте, при котором проблема выбора спутника жизни была актуальной. Актуальность рассматриваемых проблем подтверждалась исключительной активностью аудитории при их решении.

Естественно, что при анализе этих проблем использовался МАИ с трехуровневой их декомпозицией в иерархию.

### **9.9.1. Проблема выбора места работы**

Главным вопросом при декомпозиции данной проблемы в иерархию является выбор критериев для оценки альтернатив. Это обусловливается тем, что цель ясна — выбор места работы, которое в наибольшей степени удовлетворяет выпускника, а уровень критериев для возможных мест работы определяется изучением реальных альтернатив. Всего аудиторией были предложены следующие девять критериев: 1) перспективы роста; 2) заработная плата (доходы); 3) местонахождение; 4) руководство и коллектив; 5) престижность; 6) стабильность; 7) должность; 8) творчество; 9) социально-культурные льготы. Эти критерии просто пронумерованы, но не ранжированы по важности. После обсуждения были исключены 7-й критерий как вполне охватываемый 5-м критерием, 8-й — как не очень важный, 9-й — как не соответствующий

духу времени и в большей мере характерный для действительности бывшего Союза.

Матрица попарных сравнений оставшихся 6 критериев и рассчитанные величины их локальных приоритетов приведены в табл. 9.24.

Таблица 9.24

**Матрица попарных сравнений и величины локальных приоритетов критериев**

Цель	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	Величина приоритета
$K_1$ — перспективы роста	1	1/3	7	3	2	1/2	0,1648
$K_2$ — доходы	3	1	9	5	4	2	0,3796
$K_3$ — местонахождение	1/7	1/9	1	1/3	1/6	1/8	0,0273
$K_4$ — руководство и коллектив	1/3	1/5	3	1	2	1/4	0,0859
$K_5$ — престижность	1/2	1/4	6	1/2	1	1/3	0,0917
$K_6$ — стабильность	2	1/2	8	4	3	1	0,2507

ОС = 5,58%

В труде авторов МАИ [10] приводится вариант решения подобной проблемы студентом-выпускником США. Им были выбраны следующие критерии и определены величины их приоритетов: 1) исследования — 0,16; 2) рост — 0,19; 3) доходы — 0,19; 4) коллеги — 0,05; 5) местонахождение — 0,12; 6) репутация — 0,30. Следует отметить, что белорусским студентам этот вариант решения проблемы выбора работы не был известен. Они были ознакомлены с ним после анализа собственного решения.

Проблема выбора работы, конечно, должна решаться индивидуально, как это и сделано студентом-выпускником США, так как у каждого могут быть свои критерии и тем более свои предпочтения по ним. Будущим бакалаврам это внушалось. При проведении занятий вырабатывалось суждения коллективно. Это было сделано, во-первых, в учебных целях, чтобы в обсуждении и выработке мнений участвовали все обучаемые. Во-вторых, требовалось провести небольшое социальное исследование для установления усредненных приоритетов.

Его результаты говорят, что на то время наиболее приоритетными для выпускников являлись доходы и стабильность. Затем следовали перспективы роста и престижность. Несомненно, с улучшением социально-экономических условий приоритеты молодых людей изменяются. Для американского студента наиболее важна репутация (престижность), а затем почти равноценны рост, доходы и исследования.

Для полного решения проблемы выбора работы будущим бакалаврам были даны три ее варианта, отличавшихся друг от друга интенсивностью критериев (в данной книге не приводятся, так как были учебными и интереса для читателей, которые в жизни будут оценивать реальные альтернативы, не представляют).

### 9.9.2. Проблема выбора спутника жизни

Для решения данной проблемы студентам сначала было предложено выбрать критерии для оценки спутников жизни. К основным критериям ими были отнесены: 1) доходы (обеспеченность); 2) внешность; 3) характер; 4) здоровье; 5) наличие жилья; 6) образование; 7) родственники (наследственность); 8) отсутствие вредных привычек; 9) чувство; 10) сексуальность; 11) хозяйственность. Критерии также просто пронумерованы. Полный перечень основных критериев преднамеренно составлялся представителями сильного и слабого пола совместно, так как хотелось, чтобы они в какой-то мере ознакомились с предпочтениями противоположной стороны. Автором было предложено включить в перечень критериев еще и верность. Молодые люди отнеслись к этому весьма скептически. Самое неожиданное было то, что наиболее жесткую позицию занял слабый пол. Несмотря на пояснение, что верность в качестве критерия понимается в широком плане как верность семейному долгу, детям и т.д.

В дальнейшем студенты были разделены на две группы по половому признаку. Каждая из групп выбрала из перечня критериев на их взгляд основные и заполнила матрицы попарных сравнений. Выбранные группами основные критерии, матрицы их попарных сравнений и рассчитанные величины приоритетов приведены для представителей слабого и сильного пола соответственно в табл. 9.25 и 9.26.

**Матрица попарных сравнений и величины приоритетов критериев представительниц слабого пола**

Цель	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	Величина приоритетов
$K_1$ – внешность	1	1/5	1/3	2	1/3	1/3	1/4	2	0,0520
$K_2$ – образование	5	1	4	7	4	4	2	7	0,3264
$K_3$ – здоровье	3	1/4	1	4	4	4	1/2	3	0,1620
$K_4$ – характер	1/2	1/7	1/4	1	1/3	1/3	1/6	1	0,0332
$K_5$ – чувство	3	1/4	1/4	3	1	2	1/3	3	0,0974
$K_6$ – отсутствие вредных привычек	3	1/4	1/4	3	1/2	1	1/3	3	0,0844
$K_7$ – доходы	4	1/2	2	6	3	3	1	5	0,2092
$K_8$ – жилье	1/2	1/7	1/3	1	1/3	1/3	1/5	1	0,0353

ОС = 6,67%

**Матрица попарных сравнений и величины локальных приоритетов критериев представителей сильного пола**

Цель	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	Величины приоритетов
$K_1$ – внешность	1	6	5	3	4	3	2	3	0,2945
$K_2$ – образование	1/6	1	1	1/4	1/2	1/3	1/5	1/4	0,0364
$K_3$ – здоровье	1/5	1	1	1/4	1/3	1/3	1/4	1/3	0,0387
$K_4$ – характер	1/2	4	4	1	2	2	1/2	1	0,1316
$K_5$ – чувство	1/4	2	3	1/2	1	2	1/3	1/3	0,0839
$K_6$ – отсутствие вредных привычек	1/3	3	3	1/2	1/2	1	1/3	1	0,0872
$K_7$ – хозяйственность	1/2	5	4	2	3	3	1	2	0,2026
$K_8$ – сексуальность	1/3	4	3	1	3	1	1/2	1	0,1252

ОС = 3,76%

Из данных таблиц видно, что шесть критериев у обеих групп совпали; два последних критерия у групп выбраны разные.

Представительницы слабого пола предпочитают образованных, обеспеченных и здоровых мужчин. Очень желательно, чтобы они их любили, не имели вредных привычек и сносно выглядели. Жестких требований к обеспеченности жильем нет. Однако это не вера в то, что с милым и в шалаше рай. Просто, повышенные требования к обеспеченности гарантируют появление жилья в приемлемые сроки. За пониженным приоритетом характера скрывается вера в джентльменство или рыцарство сильного пола и в свою способность «укрощать строптивых». Так что, мужчины, народная мудрость в трактовке современных милых дам звучит так: «Лучше быть образованным, богатым и здоровым, чем неучем, бедным и больным».

Молодые люди ценят у женщин внешние данные, хозяйственность, хороший характер и сексуальность. В цене также отсутствие вредных привычек и чувство. Все это основывается на здоровье. Отсутствие перечисленных выше качеств образование не компенсирует.

Естественно, что проблема выбора спутника жизни далее выбора критериев и определения величин их приоритетов не рассматривалась. Внимание обучаемых заострялось на усредненность оценок и естественную необходимость решать эту проблему индивидуально.



## **Глава 10. ОТКЛОНЕНИЕ ОТ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ ЛЮДЬМИ. ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

### **10.1. Принятие индивидуальных решений**

В п.2.2 были выделены индивидуальные и коллективные проблемы. Для проблем первого типа последствия принимаемых и реализуемых решений касаются отдельных индивидов или мелких групп людей, жестко объединенных общими интересами. Последствия принимаемых и реализуемых решений по коллективным проблемам влияют на судьбы и интересы многих людей: ЛПР возглавляют организации различных уровней. В гл. 6–9 излагались методологические положения по принятию решений, которые основывались на предположении, пусть и не четко обозначенном, о рациональном поведении ЛПР. Это означало, что ЛПР обладают определенным уровнем знаний и умений по теории и методологии выбора решений, руководствуются ими в своей работе. Самое главное, что на выбор из альтернатив не влияют или влияют незначительно психологические факторы и ограниченные возможности ЛПР по переработке информации. Вместе с тем, исследования и опыт специалистов по системному анализу и теории принятия решений показали, что эти факторы и ограничения присутствуют и необходим их учет. Здесь же мы кратко рассмотрим особенности принятия ЛПР индивидуальных решений, а в следующем пункте – решений в организациях.

Особенности принятия индивидуальных решений будут изложены применительно к наиболее значимой для людей сфере деятельности – экономике. В ней главными ЛПР являются производители товаров и услуг и их покупатели.

Экономическая теория исходит из допущения, что человек всегда делает рациональный выбор [25]. Это означает, что его выбор является результатом упорядоченного, правильного мышления. Упорядоченным признается такое мышление, которое основывается на аксиомах рационального поведения. Таких аксиом разработано шесть [25]. В данной работе они рассматриваться не будут для сокращения изложения. При необходимости их изучения читатели могут обратиться к указанному или другим источникам. Если эти аксиомы выполняются, то доказано, что существует единственная числовая функция полезности, определяющая человеческий выбор. Под полезностью понимается некоторая величина, которую при выборе стремится максимизировать человек, обладающий рациональным экономическим мышлением [25]. Другими словами, полезность представляет собой воображаемую меру потребительских и психологических ценностей товаров, услуг и других благ [25]. Изучение поведения людей в задачах принятия решений, в которых использовались «деревья» целей (решений) и максимизировалась субъективная функция полезности, показало, что люди отклоняются от рационального поведения. Таким образом, был установлен парадокс Алле, основными причинами которого являются [25]:

- ✓ недостаточная информированность ЛПР о проблемной ситуации;

- ✓ незначительный опыт ЛПР в решении задач выбора (в процессе анализа проблемной ситуации происходят обучение ЛПР и обусловленные этим изменения в его системе предпочтений);

- ✓ стремление ЛПР оптимизировать свое решение сразу по всем критериям, упорядочив их по важности, но из-за сложности задачи оно это сделать не может;

- ✓ наличие дефицита времени: задача сложна и требует для анализа много времени, а деятельность ЛПР всегда ограничена временными рамками.

Для преодоления недостатков теории полезности была разработана теория проспектов. Она учитывала три поведенческих эффекта ЛПР при выборе из альтернатив [25]:

- ✓ эффект определенности (ЛПР всегда отдает большие предпочтения детерминированным, а не недостаточно определенным или неопределенным исходам);

- ✓ эффект отражения (имеется тенденция изменения предпочтений ЛПР при переходе от выигрышей к потерям);

- ✓ эффект изоляции (тенденция к исключению общих компонентов из альтернатив с целью упрощения выбора).

Теория проспектов также не лишена недостатков, хотя и позволяет избежать парадокса Алле. Вместе с тем, специалисты

считают, что она является интересной аксиоматической теорией, которая стремится объединить качественные (описательные) знания о психологических аспектах поведения людей и нормы их рационального поведения [25].

## 10.2. Принятие решений в организациях

Отклонения от рационального поведения характерно не только для отдельных людей, но и для организаций, их ЛПР и органов управления. В связи с этим Г. Саймон предложил теорию «ограниченной рациональности», объясняющую это явление и его причины. Так, он указал четыре основные причины [25]: упрощение проблем; удовлетворительные решения; стремление избежать неопределенности и связанного с ней риска; репертуар привычных решений. Кратко охарактеризуем каждую из них.

1. В п. 2.2 указаны рекомендованные Р. Акоффом четыре способа обращения со сложными проблемами в зависимости от их решаемости. Они характеризуют один из важных аспектов рационального поведения организаций и предусматривают: смягчение последствий нерешаемой проблемы; декомпозицию проблемы на частные проблемы и решение наиболее значимых из них; решение проблемы полностью, если это возможно; устранение трудно решаемой проблемы переделкой проблемосодержащей системы или среды. В целом способы обращения с проблемами направлены на их решение, устранение или, как минимум, смягчение негативных последствий. Причем ЛПР и органами управления проблемосодержащей системы.

В большинстве организаций проблема упрощается декомпозицией на частные проблемы, что соответствует второму способу обращения с проблемами. Однако ЛПР и органы управления организации часто рассылают циркуляры ЛПР и органам управления подсистем своей организации с задачей выработать предложения по решению частных проблем. Интересы и цели различных подсистем организации нередко не только не совпадают, но и противоречат друг другу. Соответственно не совпадающие или противоречивы и предложения подсистем о путях и способах решения частных проблем. Поэтому ЛПР организации должен понимать, что сложные проблемы организации и выбор способов обращения с ними, обоснование соответствующих решений являются его прерогативой. У ЛПР подсистем нет интегрального видения сложной проблемы организации, они также не обладают всей информацией, которая имеется у ЛПР организации.

2. Обоснование рациональных решений по сложным слабоструктурированным и неструктурированным проблемам возможно

только при использовании системного анализа и теории принятия решений при многих критериях. А это требует осознание необходимости привлечения системных аналитиков, экспертов и других специалистов, немалых затрат финансовых средств, затрат времени и других ресурсов. Поэтому ЛПР организации часто останавливается на выборе какой-нибудь несложной приемлемой альтернативы. Причем такой альтернативы, которая понятна как ему, так и сотрудникам организации, не требует длительного уяснения и согласования. Она, как правило, обеспечивает небольшую пошаговую корректировку курса действий и политики организации. Специалисты по системному анализу такой методологический подход к планированию и управлению называют инкрементальным (от англ. *inkrement* — увеличение) [10].

К положительным сторонам инкрементального подхода относятся незначительные затраты сил и средств на обоснование решений и планирование, опора на экспертное знание и здравый смысл, на соглашения и компромиссы, осторожность и внешнюю реалистичность курса действий.

Основным недостатком этого подхода является игнорирование современной системной методологии принятия решений и планирования, не видение перспективы и стратегических целей, неспособность радикально решать сложные проблемы. Инкрементальный подход к принятию решений и планированию определяет политику организации типа «штонание дыр» и «бить по хвостам».

В этой связи заслуживает внимания опыт развитых стран, в которых популярны услуги консультативных фирм. Несмотря на то, что у них давно налажена подготовка в вузах специалистов по управлению и менеджменту. В консультативных фирмах работают 10–20 специалистов, имеющих очень высокую подготовку и являющихся консультантами по обоснованию решений по сложным проблемам [25]. Они называются аналитиками, системными аналитиками, специалистами по планированию и др. [10, 25]. Появление консультативных фирм обусловлено сложностью процессов принятия решений и планирования и оправданностью затрат на использование современных методологических средств на их обоснование. К сильным сторонам консультантов по обоснованию решений относятся [25]:

✓ в процессе своей деятельности они участвуют в анализе большого числа разнообразных сложных проблем. Поэтому у них накапливается соответствующий опыт, вырабатываются и непрерывно совершенствуются профессиональные навыки. Кроме того, консультанты имеют возможность учиться при личном общении с лучшими руководителями;

✓ консультанты имеют высокую методологическую подготовку в анализе сложных проблемных ситуаций и обоснования решений, которая постоянно обогащается.

3. Обоснование решений по сложным проблемам связано с необходимостью прогнозирования будущего организации на основе вскрытия закономерностей ее функционирования и развития, а также закономерностей среды, а это, как уже не раз отмечалось, довольно непросто. Возможны ошибочные прогнозы и связанный с ними риск принятия неверных решений на долгосрочную перспективу. Поэтому ЛПР часто стремятся избегать решений, для обоснования которых необходимы оценки неопределенных будущих ситуаций. Они привержены альтернативам, последствия которых более-менее очевидны и проявятся в самом ближайшем будущем. Положительной стороной подобного подхода является гарантия определенности при обосновании решений на небольшой промежуток времени с минимизацией риска. Основной недостаток — игнорирование долгосрочной стратегии, связанной с более высоким уровнем риска.

4. Для ЛПР и организаций характерна выработка стереотипных подходов к ответам на возникающие проблемы. В этом заключается суть репертуара привычных решений. Его причинами являются консерватизм, присущий сотрудникам организаций «эффект привыкания» к привычным, традиционным процедурам принятия решений [25]. В рамках репертуара особо выделяют такой специфический тип поведения ЛПР, как эскалация решений [25]. Он состоит в том, что ЛПР получает отрицательный результат из-за ошибочного решения, но курс действий организации не меняет. Основными причинами подобного поведения ЛПР являются [25]:

✓ желание «спасти лицо» — руководитель опасается за свой авторитет в случае признания своей ошибки;

✓ инерция организаций, для которых характерно запаздывание реакции на последствия принимаемых решений; причем с повышением ранга организаций инерция возрастает;

✓ иллюзия наличия контроля за ситуацией: у ЛПР высокого уровня формируется ложное мнение, что оно контролирует ход событий. Руководитель верит в свою непогрешимость, у него притупляется способность критически оценивать ситуацию, отсутствует стремление изучить и отреагировать на реальную обстановку. ЛПР в какой-то мере превращается в азартного игрока, упорно продолжающего эскалацию ошибочных решений.

Из рассмотренных причин отклонения от рационального поведения при принятии решений в организациях следует важный вывод.

Он заключается в том, что стремление ЛПР к уменьшению неопределенности и риска обуславливается еще и весьма примечательной особенностью организаций. Она заключается в том, что организации неплохо приспособлены к восприятию и реализации краткосрочных, тактических решений. Обычно тактические решения направлены на постепенное приспособление организаций к изменяющимся условиям, на удовлетворение текущих потребностей [25]. Вместе с тем, крупные организации (как государственные, так и частные) часто не уделяют должного внимания определению долгосрочных целей и обоснованию стратегических решений — планированию. Однако разработка стратегии для таких организаций — жизненно важна. В противном случае неизбежен конфликт с объективными закономерностями, что чревато серьезными негативными последствиями, вплоть до катастрофических.

### **10.3. Особенности практического применения системного анализа**

Системный анализ является общенаучной прикладной отраслью знаний, которая предназначена для обоснования решений по слабо структурированным и неструктурированным проблемам из самых различных сфер и областей деятельности человека и общества. При этом следует отметить, что сложность проблем в различных сферах и областях не одинакова. С этой точки зрения заслуживает внимания общая классификация систем П. Чекландом. Он подразделяет все системы на три типа [5]: естественные, искусственные и социотехнические системы. В естественных системах (химических, физических, биологических и др.) действуют природные связи и отношения. Их научное обоснование дают естественные науки. В искусственных системах (механизмах, приборах, машинах и других технических системах) связи и отношения также имеют естественную природу, но образованы в результате человеческой деятельности. Теоретической основой искусственных систем являются естественные и технические науки. Для социотехнических систем наиболее характерно то, что самые существенные связи и отношения в них определяются культурой, оценка любых ситуаций в них неразрывно связана с ценностями, мировоззрением, смысложизненными компонентами, этическими нормами и т.д. Научное обоснование таких систем в общем случае осуществляется естественными, техническими и социально-гуманитарными науками при ведущей роли последних.

Самыми многочисленными, сложными и значимыми являются слабоструктурированные и неструктурированные проблемные ситуа-

ции в социотехнических или просто социальных системах. В этой связи вопросы практического применения системного анализа будут излагаться применительно именно к таким проблемным ситуациям.

В предыдущих главах фактически были изложены теоретические положения системного анализа. Они позволяют в обобщенном виде выделить основные особенности практического применения системно-аналитических процедур, которые будут рассмотрены ниже.

1. Владелец проблемы и ЛПР выявляют сложную проблемную ситуацию, изучают и формулируют ее, конечно, с учетом уровня своей подготовленности. Затем ЛПР с помощниками оценивает свои возможности по обоснованию и принятию рационального решения, позволяющего устранить возникшую проблему. Если в результате оценки сформировалось убеждение, что сложность проблемы такова, что рациональное решение самостоятельно вряд ли удастся выработать, то ЛПР обращается к системному аналитику с просьбой провести системно-аналитическую процедуру. Именно осознание ЛПР необходимости обращения и обращение к системному аналитику за помощью является исходным пунктом системного анализа.

2. Системный аналитик является центральной фигурой в системно-аналитической процедуре. Он ее организывает и проводит на основе своей методологической подготовки и опыта участия в обосновании решений по многим сложным проблемам. При этом системный аналитик свою работу строит на основе принципа объективности и исключения влияния собственного мнения на результаты анализа.

3. Системный анализ предполагает неперемнное непосредственное участие в нем ЛПР и его помощников при методическом руководстве системного аналитика, их постоянного общения с системным аналитиком. Если это условие не выполняется, то полноценная системно-аналитическая процедура состояться не может. Опыт применения системного анализа показывает, что нередко ЛПР государственных организаций, являющиеся, как правило, одновременно и владельцами проблемы, не участвуют в системно-аналитических процедурах по причине занятости и другим мотивам. Конечно, не будь это в обиду ЛПР негосударственных организаций: просто автору не приходилось с ними работать. Еще хорошо, если ЛПР назначат для участия в обосновании решения подготовленных представителей, владеющих проблемной ситуацией.

4. Главной целью системного анализа, и, следовательно, системного аналитика является обоснование рационального или

эффективного решения, позволяющего устранить конкретную проблемную ситуацию.

5. Главной целью владельца проблемы, ЛПР и других заинтересованных лиц является устранение проблемной ситуации на основе реализации обоснованного с применением системно-аналитической процедуры рационального или эффективного решения. В некоторых работах по системному анализу [5] в качестве важного заключительного этапа системного анализа указывается реализация, внедрение результатов системного анализа. Во второй главе приведены варианты этапов системного анализа, в некоторых из которых также предусмотрен этот этап. В этой связи следует высказать ряд суждений.

Во-первых, реализация или внедрение обоснованного решения является прерогативой ЛПР и других органов управления проблемосодержащей системы, с точки зрения теории управления — одной из важных их управленческих функций. У системного аналитика нет для этого ни соответствующего статуса, ни полномочий, ни прав, ни возможностей, ни управленческой подготовки. Следовательно, включение в качестве важного этапа системного анализа реализации и внедрения решения несостоятельно теоретически. Не случайно во втором и третьем «американских» вариантах этапов системного анализа, приведенных в п. 2.1, заключительным этапом является управление применением решения. Поэтому, учитывая большую значимость реализации результатов системного анализа, необходимо включить в него завершающий десятый этап как участие аналитиков в реализации решения с целью оценки ее последствий.

Во-вторых, включение реализации и внедрения решения в качестве важного этапа несостоятельно с методологической точки зрения. Ведь при такой его формулировке ЛПР и другие органы управления фактически как бы отстраняются от процесса реализации решения, так как все возлагается на системного аналитика, являющегося центральной, главной фигурой в системно-аналитической процедуре.

В-третьих, иногда утверждается, что конечная (главная) цель системного анализа — это изменение проблемной ситуации к лучшему, т.е. фактически устранение проблемы [5]. Выше было показано, что главной целью системного анализа является все-таки обоснование рационального или эффективного решения. А вот устранение проблемы — это главная цель владельца проблемы, ЛПР и других заинтересованных лиц. Видимо, появление реализации и внедрения решения в качестве этапа системного анализа обусловлено некоторой подменой целей.



6. Системный аналитик должен быть допущен до всей информации по анализируемой проблемной ситуации, которая имеется у владельца проблемы и ЛПР. Это положение доказательств не требует. Однако на практике это бывает не всегда. Нередки случаи, особенно при наличии закрытой информации, когда системному аналитику и его помощникам предлагается использовать при обосновании решений гипотетическую информацию. Это недопустимо, так как в таком случае могут обосновываться тоже гипотетические решения, которые пригодны для устранения не реальных, а гипотетических проблем.

7. Качество решений, обоснованных с помощью системного анализа для слабоструктуризованных и неструктуризованных проблемных ситуаций, невозможно оценить априори. Такие решения проверяются только при их реализации. В этой связи часто приходится проводить неоднократные уточнения решений проведением повторяющихся циклов системно-аналитических процедур. Кроме того, системный анализ представляет собой сложное методологическое средство, результаты которого не всегда правильно понимаются лицами, принимающими решения. В том числе в силу факторов и причин, которые были охарактеризованы в предыдущем параграфе при рассмотрении основных положений теории «ограниченной рациональности». Специалисты отмечают, что нередко ЛПР отвергали рациональные, хорошо обоснованные, правильные решения, предлагаемые системными аналитиками. Это доказывалось в последующем практикой. Кроме того, имелись случаи, когда результаты системных исследований внедрялись в практику только до тех пор, пока в их реализации принимали участие сами разработчики.

Следовательно, насущная необходимость участия системных аналитиков в реализации обоснованных ими решений заключена в самой природе решения сложных слабоструктуризованных и неструктуризованных проблем. Такие проблемы практически никогда не решаются одноактно, а предполагают выработку исходного решения и последующий итеративный процесс проведения его корректировки повторными циклами проведения системно-аналитических процедур до устранения проблемной ситуации. Однако это отнюдь не означает, что системные аналитики заменяют ЛПР, несущего ответственность за реализацию принятого им решения с целью улучшения и устранения ситуации. Они занимаются своим делом и преследуют главную цель — с помощью системных исследований обосновывать и корректировать решения на основе непрерывного изучения последствий практического их внедрения.

Специфичность обоснования решений с использованием системно-аналитических процедур и сложный итеративный процесс их ре-

ализации потребовал разработки специального раздела системного анализа, посвященного практическим вопросам проведения системных исследований и реализации их результатов. По предложению Р. Акоффа он был назван «теорией практики» [5]. Задачей данной теории является исследование общих закономерностей и особенностей практического проведения системно-аналитических процедур, внедрения в практику полученных результатов и выработку соответствующих рекомендаций по повышению эффективности этих процессов. Несмотря на то, что в разработку «теории практики» системных исследований внесли многие специалисты, основная заслуга в ее обосновании принадлежит Р. Акоффу, обобщившего опыт своего участия в системном анализе более чем для четырехсот государственных и частных организаций в различных странах [5]. Основными компонентами «теории практики» являются [5]:

- 1) ключевые понятия;
- 2) условие добровольности участия в системном анализе;
- 3) роль отношений между участниками анализа;
- 4) проблемы и способы их решения;
- 5) роль этики в системном анализе.

Краткая характеристика основных положений «теории практики» будет дана ниже.

1. Основными понятиями «теории практики» являются [5]: «социальные системы», «практика», «заинтересованные стороны», «эффективная практика», «практикующий системный аналитик», «развитие организации».

Социотехнические системы Р. Акофф называет «социальными системами». Под ними понимаются такие системы, в которых наиболее существенную роль играют люди. Их еще называют, как уже неоднократно отмечалось в работе, организациями.

Под «практикой» понимается работа системных аналитиков по обоснованию решений для клиентов — ЛПР, т.е. лиц, обладающих властью, достаточной для реализации результатов системных исследований с целью устранения сложной проблемной ситуации. В этой работе должны принимать участие все «заинтересованные лица» (прежде всего, владелец проблемы, ЛПР, акторы и пассивные участники, о которых речь велась в п. 2.2) или их представители.

«Под «эффективной практикой» понимается улучшение работы организации клиента с точки зрения хотя бы одной из заинтересованных сторон и отсутствие ухудшения этой работы с точки зрения остальных» [цит. по: 5, с. 339].

Понятие «практикующий системный аналитик» Р. Акофф определяет следующим образом [цит. по: 5, с. 339]: «Не тот, кто, столкнувшись с проблематикой организации, собирает симптомы,

ставит диагноз и выписывает рецепт, подобно врачу, имеющему дело с пациентом. Я имею в виду тех, кто, оказывая поддержку и помощь, делает других способными справляться со своими проблемами более успешно, чем они могут делать без его помощи. Таким образом, системный аналитик более похож на учителя, чем на доктора. Учителя знают, что они не могут научиться вместо своих учеников; ученики должны научиться сами. Но учителя могут помочь ученикам научиться большему и быстрее, чем это они могут без учительской помощи». Но и этой аналогии с учителем недостаточно. Р. Акофф считает, что системная практика является познавательным процессом как для клиентов, так и для самих аналитиков [цит. по: 5, с. 340]: «Если они ничему не учатся в ходе работы, то они не практикуют, а консультируют, делясь тем, что они знали заранее. Скажем иначе: целью практики является поднять уровень развития системы клиента, всех ее заинтересованных сторон и самих аналитиков, вовлеченных в работу».

Р. Акофф дает следующее определение понятия «развитие» [цит. по: 5, с. 340]: «Развитие определяется как увеличение желания и способности организации удовлетворять свои собственные и чужие нужды и оправданные желания». Под нуждами понимается то, что необходимо для выживания, а под оправданными желаниями – те из них, удовлетворение которых не сказывается отрицательно на развитии других. Развитие связано с обучением и осуществляется под действием внутренних факторов социальной системы. Развивать системы извне невозможно, можно только способствовать развитию, но только с участием их заинтересованных сторон. Поэтому единственным способом развития социальных систем является саморазвитие, самоорганизация. Развитие связано не столько с наличием ресурсов, сколько с умением их использовать. Среди всех ресурсов для развития наиболее важны не материальные, а информационные ресурсы. С развитием системы становятся все менее зависимыми от наличных ресурсов и все более способными добывать или производить недостающие из них.

С точки зрения Р. Акоффа важно различать понятия развитие и рост. Это не одно и то же, они даже не обязательно связаны друг с другом [цит. по: 5, с. 340]: «Груда мусора может расти без развития. Человек развивается еще долго после того, как прекращается его рост. Это, конечно, очевидно. Менее очевидно, что многие проблемы, связанные с развитием, опираются на предположение, будто для развития экономический рост необходим, если недостаточен, и будто пределы роста ограничивают развитие». Сложные социальные системы могут вырасти чрезмерно. Однако пределов их развитию нет.

2. Добровольность в «теории практики» считается самой важной особенностью участия заинтересованных сторон в системно-аналитических процедурах. Если этого нет, то участие не может быть эффективным. Р.Акофф установил, что заинтересованные лица наиболее склонны участвовать в поисках путей и способов устранения сложной проблемной ситуации при выполнении трех условий [5]:

- 1) они уверены, что их участие действительно повлияет на полученные результаты;
- 2) участие в работе вызывает у них живой интерес;
- 3) есть предпосылки для действительного внедрения результатов.

Выполнение первого условия связано с обеспечением равноправности заинтересованных сторон при обосновании решений. Если решение принимается представителями одной из сторон, представители которой составляют большинство, то от меньшинства не следует ожидать добровольного участия в анализе. Выход — поиск компромиссного варианта решения на основе консенсуса всех сторон.

Для заинтересованности участников анализа могут применяться самые различные способы. Р. Акофф для этой цели часто использовал на начальном этапе предложение участникам разработать идеальный вариант проектируемой системы, которая обладает более высоким уровнем качества и все согласны на замену ею существующей системы. При этом проект системы не должен основываться на нереальных, фантастических идеях и возможностях: он должен быть реализуемым, учитывать существующие основные внешние ограничения (экономические, правовые, социальные и др.), обеспечивать обучаемость и адаптивность системы при изменении условий внешней среды. Разработка подобного проекта, как правило, вызывает у участников большой интерес, так как содержит элемент творческой игры, позволяет им отвлечься от привычных стереотипных подходов к решению проблем, дать волю своей фантазии. При этом им открываются новые возможности и проблемы своей организации, а также пути и способы их решения. И, самое главное, после некоторого «приземления» проектов участники анализа могут сформировать первоначальный облик нового проекта системы, который близок к реализуемому варианту.

3. Роль отношений между участниками системного исследования и внедрения его результатов для их успешного проведения существенна. Особую значимость в этом плане имеют следующие факторы: личное участие ЛПР; получение системным аналитиком и его помощниками за свои услуги денежного вознаграждения; за-

интересованность окружения ЛПР в проведении исследований и внедрении их результатов; установление отношений взаимного доверия между ЛПР и системным аналитиком.

Готовность ЛПР лично участвовать в системном исследовании и в реализации их результатов является одним из важнейших факторов, который в значительной мере обуславливает гарантию того, что анализ будет завершен, а его результаты внедрены. Требование участия столь ответственного лица известно как «принцип первого лица» [5]. Р. Акофф, подчеркивая исключительную важность соблюдения этого принципа, был весьма категоричен [цит. по: 5, с.342]: «Лично я не стану участвовать в проекте, в котором не хотят принять участие ответственные лица, и я не стану тратить на него больше времени, чем они. Проблемы их, а не мои: если они считают, что эти проблемы не стоят их времени, почему я должен считать иначе».

Р. Акофф обращает внимание на то, что завершение системных исследований и использование их результатов всегда вероятней в тех случаях, когда услуги системных аналитиков оплачивались. Это обусловлено тем, что когда тратились деньги, то анализ был действительно нужен. Кроме того, он считает, что здесь играет и психологический аспект: всегда менее всего людьми ценится бесплатное.

Бесспорно влияние ближайшего окружения ЛПР на проведение анализа и практическое использование полученных результатов. Конечно, реализация «принципа первого лица» уже немало значит в подключении к работе его подчиненных за счет административного ресурса. Активизировать же, заинтересовать окружение может его привлечение к «идеальному проектированию».

Особое внимание Р. Акофф уделяет установлению между ЛПР и аналитиком атмосферы взаимного доверия и даже дружеских отношений. Более того, он считает это абсолютно необходимым условием успешного завершения исследований и внедрения их результатов. Это обуславливается тем, что руководитель должен быть уверен в том, что его собственные интересы в ходе анализа и внедрения не будут нарушены, что системный аналитик поймет и учтет его мнение и предпочтения. А гарантии этого возможны только при установлении именно таких отношений. Опыт Р. Акоффа показал, что установление подобных отношений облегчается при соблюдении следующих условий [5]:

- 1) любая из сторон может отказаться от продолжения анализа в любой момент и по любой причине; если появилась неудовлетворенность ходом работы, то стороны не обязаны ее продолжать;

- 2) системный аналитик должен не только организовать и осуществлять методическое руководство системно-аналитической процедурой, но и уделять достаточное время обучению персонала

организации с таким расчетом, чтобы он мог в будущем самостоятельно справиться с проблемами, родственными решаемой;

3) системный аналитик ни в коем разе не должен подчеркивать свои заслуги в получении положительных результатов при решении сложной проблемы; наоборот, он должен всячески отмечать заслуги в этом других участников, что быстро приводит к росту его авторитета;

4) системный аналитик должен выполнять свои обязанности на высоком профессиональном уровне; вместе с тем, он предъявляет высокие требования и к созданию необходимых условий для работы. Например, если его ограничивают в требуемых профессиональными стандартами контактах с ответственными лицами и полном доступе к информации, то работа прекращается;

5) системный аналитик должен отдавать дань уважения компетентности и интеллекту ЛПР, причем, делать это искренне и открыто; конечно, при этом исключается подхалимство.

4. Только в сравнительно простых системах можно четко разграничить цикл системных исследований и цикл последующего внедрения их результатов, причем, как единичные акты. При анализе сложных социальных систем процессы исследования и внедрения переплетаются, сливаются, как уже отмечалось в параграфе выше, носят итеративный характер. Это обусловливается тем, что такие системы изменяются в силу действия различных, прежде всего, внутренних факторов и под воздействием самих исследований. В процессе итераций постепенно изменяется состояние проблемой ситуации, уточняется главная цель (цели), изменяются персональный состав участников и отношения между заинтересованными сторонами, повторение циклов исследований и реализации их результатов влияет на функционирование системы.

В этой связи Риветт писал [цит. по: 5, с. 343]: «Бытовало мнение, что существует четко определенные проблемы с ясно определенным набором целей и ограничений и что можно, так сказать остановить мир, сойти с него, чтобы построить модель, а затем войти в него опять. Так было, и в некоторых случаях остается так, и именно в этих случаях формальное математическое моделирование является мощным и достаточным средством. Но существуют и другие случаи, в которых жизнь течет не останавливаясь и исследователь оказывается не на берегу, наблюдая, как река жизни течет мимо, а в хрупкой лодке, несущейся по быстрине».

В п. 2.2 были указаны четыре способа обращения с проблемами в зависимости от их решаемости. Наиболее часто при системных исследованиях социальных или социотехнических систем используется четвертый способ: постепенно устранить трудно ре-

шаемую или нерешаемую проблему, «растворить» ее, переделав систему, в которой она существует, и(или) внешнюю среду. Причем, как отмечалось выше, таким образом, чтобы с будущими схожими проблемами система могла бы справляться самостоятельно. Итеративный характер системного анализа обуславливает специфический процесс устранения проблемной ситуации: проблема не решается одноактно, а «растворяется», постепенно «исчезает» от цикла к циклу исследований и внедрения их результатов.

5. В системных исследованиях социальных систем тесно переплетаются объективные и субъективные факторы. Они основываются на общих закономерностях развития и функционирования этих систем, но с учетом уникального, единичного, присущего конкретной системе и конкретной проблеме в данное время и в данных условиях. Существенными при проведении исследований являются и субъективные факторы: в решении проблем в социальной сфере значительную роль играют корпоративные, групповые и индивидуальные цели, интересы, ценности, смысловые, этические и другие структуры.

Р. Акофф в «теории практики» акцентировал внимание на этике системных исследований. При этом он отметил, что системным исследованиям присущи особенности, характерные для любых исследований, в том числе общие этические нормы. К ним относятся [5]: объективность, честность, научная добросовестность, стремление к истине, требовательность к своей компетенции, соблюдение норм общения с коллегами и др. Вместе с тем, в системном анализе более значимы по сравнению с другими видами исследований ценностные факторы, психология отношений между людьми, недостаточно изученные и далекие от формализации интересы людей. В этой связи отмечается важность для системного аналитика следующих этических норм его поведения [5]: недопустимость навязывания своего мнения ЛПР; ограниченность компромиссов; этический выбор.

Для исключения навязывания своего мнения ответственному лицу системный аналитик должен соблюдать следующие этические правила [5]:

- ✓ не скрывать и доводить до ЛПР все возможные допустимые альтернативы, в том числе и такие, которые ему самому по каким-либо причинам не нравятся;

- ✓ сообщать и разъяснять все предположения, на которых основываются полученные заключения;

- ✓ обращать внимание ЛПР на устойчивость или чувствительность альтернатив к изменениям внутренних факторов или условий внешней среды.

Ограниченность компромиссов означает, что системный аналитик для установления доверительных отношений с заказчиком может включать в модели и решения некоторые детали, которые заказчик считает существенными, а сам аналитик придерживается противоположного мнения. Однако по важным положениям аналитик не может идти на соглашения. Он должен, например, проявить смелость и твердость и предъявить ЛПР эффективную альтернативу, которая тому заведомо не нравится и вызовет его отрицательную реакцию.

Системный аналитик может оказаться в ситуации необходимости этического выбора. Она характерна тогда, когда его этические принципы не совпадают с этическими принципами заказчика. Для этой ситуации Дрор сформулировал следующие этические правила для системного аналитика [5]:

- ✓ не работать на заказчика, если он не дает полного доступа к необходимой информации и не позволяет публиковать результаты исследований;

- ✓ отказываться от участия в системно-аналитической процедуре, если она предназначена для «обоснования» уже принятого решения;

- ✓ не работать на клиента, гуманистические цели и ценности которого противоречат гуманистическим целям и ценностям и убеждениям самого аналитика.

Специалисты отмечают, что выполнение этих этических правил в категорической форме очень часто наталкивается на «прозу жизни» или «сложности жизни» [5].

Во-первых, этика является делом добровольным.

Во-вторых, исследования многих организаций, проведенных Черчменом, показал явление «эгоизма систем»: реальные системы часто служат не целям, ради которых они созданы, а целям персонала самих систем [5]. Например, в системе торговли интересы продавцов выше интересов покупателей, в поликлиниках и больницах интересы врачей часто выше интересов больных, в вузах интересы администрации и преподавателей выше интересов студентов [5] и др. Следовательно, системным аналитикам необходимо каждый раз определять степень «эгоизма» исследуемой системы, оценивать его на приемлемость. Отказываться от сотрудничества следует, видимо, в том случае, если «эгоизм» системы выходит за граничные для аналитика рамки. Тем более что результаты системных исследований, которые будут получены и внедрены, могут улучшить этику системы.



## **Глава 11. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ И ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

### **11.1. Общие положения о научной деятельности и оценке ее результатов**

Общие положения о научной деятельности и оценке ее результатов излагаются в законодательных и нормативных правовых документах [49–51].

Под научной деятельностью понимается творческая деятельность людей, направленная на производство и систематизацию новых знаний о действительности (природе, человеке, обществе и искусственно созданных объектах) и на использование научных знаний для разработки новых способов их применения [1, 49].

К видам научной деятельности относятся [49]:

✓ проведение фундаментальных и прикладных научных исследований;

✓ апробация результатов научных исследований;

✓ подготовка научных работников высшей квалификации (кандидатов и докторов наук).

К результатам научной деятельности (РНД) относятся [49]:

✓ новые знания, полученные теоретически или экспериментально и (или) изложенные в любой форме либо зафиксированные на любых материальных носителях информации, допускающих их воспроизводство и (или) практическое использование;

✓ экспериментальные (лабораторные) объекты и процессы, созданные на основе новых знаний, а также документация на эти объекты и процессы.

Новые знания выражаются в следующих формах [50]:

✓ законы, теории, гипотезы, принципы, направления исследований и др.;

✓ лабораторные, экспериментальные и опытные образцы изделий, технологические процессы, новые вещества, сорта растений, породы животных и иные результаты.

Согласно нормативным правовым актам [49, 50] обязательной оценке подлежат результаты научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, выполняемых в рамках фундаментальных и прикладных исследований, государственных научно-технических программ, отдельных договоров, контрактов или заданий, финансируемых из республиканского бюджета, местных бюджетов, внебюджетных фондов и других источников. Эти исследования и разработки могут осуществляться научными организациями, их структурными подразделениями, временными научными коллективами и отдельными научными работниками.

Оценка РНД может осуществляться после завершения исследований и в процессе их проведения в случае получения промежуточных или побочных результатов [50].

Целью оценки РНД является определение рациональности объема затрат финансовых, материальных, интеллектуальных и других ресурсов и научной и практической полезности выполненных фундаментальных и прикладных научных исследований [50]. Суммарная оценка за результаты завершенных научных исследований за определенный период времени является одной из важных составляющих анализа деятельности коллективов научных организаций и структурных подразделений (в дальнейшем – научных организаций).

Оценка РНД осуществляется с учетом их характера и содержания, которые зависят от сферы приложения научного труда (естественные, технические или общественные науки) и видов научных исследований (фундаментальные или прикладные) [50]. При этом учитывается наличие подтверждений различными государственными или общественными формами признания [50]: регистрацией изобретения, выдачей патента, изданием монографии и др. Конкретные формы признания будут изложены ниже в примерных перечнях результатов исследований.

В примерный перечень результатов фундаментальных исследований включены следующие результаты [51]:

- а) в сфере естественных и технических наук:
  - сделано открытие (открыт закон, закономерность);
  - разработана научная теория;
  - выдвинута и обоснована научная гипотеза;
  - сформирована новая область (направление) исследований;
  - обнаружено новое явление;
  - обнаружено новое свойство известного явления;

разработаны методы достижения научных результатов, направленных на развитие фундаментальных исследований;  
обобщены решения частных научных задач;  
систематизированы ранее известные подходы использования теорий и открытий в практике;

разработаны новые методы измерений;

б) в сфере общественных наук:

разработана теория;

выдвинута и обоснована гипотеза;

разработана концепция;

разработан аналитический доклад с предложениями.

Значимость результатов фундаментальных исследований увеличивается при наличии форм их признания [51]:

а) основных:

открытие подтверждено (признано) научной общественностью;

издана монография;

издан учебник;

издана книга;

опубликована научная статья (глава в книге) в зарубежном издании;

опубликована научная статья (глава в книге) в отечественном издании;

опубликован доклад, сделанный на международном научном форуме;

отчет о НИР одобрен ученым (научно-техническим) советом;

б) дополнительных:

результаты исследований одобрены государственной экспертной комиссией;

доклад с предложениями принят правительственными органами;

организована конференция, семинар, симпозиум (международный) по результатам исследований;

в) особых:

присуждена международная премия;

присуждена государственная премия;

присуждена премия Совета Министров;

присуждена медаль международной научной организации, фонда;

присуждено почетное научное звание.

В примерный перечень результатов прикладных исследований включены следующие результаты [51]:

а) в сфере естественных и технических наук:

- разработан экспериментальный макет изделия;
- разработан опытный образец изделия;
- создан промышленный образец;
- разработан экспериментальный образец новой технологии получения нового материала;
- разработан опытный образец новой технологии получения нового материала;
- разработан проект технологического процесса;
- разработан стандарт, технические условия;
- разработана методика (измерения, контроля и т.д.);
- разработаны методические рекомендации (использования оборудования, приборов и т.д.);
- б) в сфере общественных наук:
  - разработан проект нормативного акта;
  - разработана программа, план, концепция;
  - разработаны методические рекомендации (документ, пособие, положение и т.д.);
  - разработаны новые нормативы;
  - разработаны рекомендации.

Значимость результатов прикладных исследований увеличивается при наличии форм их признания [51]:

- а) основных:
  - продана лицензия: 1) за пределы СНГ; 2) в СНГ; 3) в Республике Беларусь;
  - получен патент на изобретение;
  - изделия, технология приняты приемочной комиссией;
  - признано соответствие изделия, технологии стандартам:
    - 1) международным; 2) государственным;
  - издана монография;
  - издан учебник;
  - издана книга;
  - опубликована научная статья (глава в книге) в зарубежном издании;
  - опубликована научная статья (глава в книге) в отечественном издании;
  - опубликован доклад, сделанный на международном научном форуме;
  - нормативный (методический) документ утвержден соответствующим государственным органом;
  - рекомендации и предложения приняты правительственными органами;
  - нормативы утверждены соответствующим государственным органом;

отчет о НИР одобрен ученым (научно-техническим) советом;

б) дополнительных:

утверждена рабочая документация для запуска изделия в серийное (массовое) производство;

утвержден акт о внедрении разработки (предложений, рекомендаций, методических документов);

разработан и подтвержден инвестором бизнес-план для организации нового производства;

утвержден проект технического задания на НИОКР;

организована конференция, семинар, симпозиум (международный) по результатам исследований;

издан методический документ (методика, методическое пособие и т.д.);

в) особых:

такие же, как и для результатов фундаментальных исследований.

Примерные перечни отражают общие подходы к выделению и оценке РНД. Они могут дополняться, уточняться и конкретизироваться министерствами и другими государственными органами управления с учетом специфики сфер и видов научной деятельности подведомственных научных организаций [51].

Для оценки РНД используются следующие пять критериев [49]: новизна; значимость для науки и практики; объективность; доказательность; точность. При этом характеристика и оценка результатов как фундаментальных, так и прикладных исследований осуществляется по первым четырем указанным ранее критериям [50, 51]. Результаты прикладных исследований при создании действующих моделей и образцов новой техники и технологий оцениваются и по пятому критерию – точности [50, 51]. Результаты исследований, включенных в инновационный процесс (конструкции (опытные образцы), технологические процессы), оцениваются по четырем критериям, так как при их оценке не используется доказательность [50, 51].

Для оценки результатов научной деятельности научных организаций, структурных подразделений, временных научных коллективов и научных работников используются числовые показатели [50].

Для числовой оценки всех результатов исследований по каждому критерию установлены пять значений показателей (от 1 до 5), характеризующих интенсивность проявления свойств результатов, охватываемых каждым из критериев, т.е. для оценки используется шкала «1–5» [51]. Характеристики результатов по выбранным критериям и соответствующие им различные числовые показатели по шкале «1–5» приведены в прил. 1 [51].

Числовые оценки каждого РНД по критериям определяются группой назначенных экспертов (рецензентов), каждый из которых представляет ученому (научно-техническому) совету научной организации-исполнителя рецензию и заключение с оценками по каждому критерию [50]. Следовательно, качество РНД характеризуется экспертами векторными числовыми показателями. Как было отмечено выше, для результатов фундаментальных исследований и результатов, включенных в инновационный процесс, он включает четыре простых числовых показателя, а для результатов прикладных исследований – четыре или пять.

На основе этих векторных числовых показателей, представленных экспертами, способом обобщения всех показателей ученым (научно-техническим) советом организации-исполнителя определяется общая оценка РНД [50]. Характерно, что способ обобщения векторных оценок результата, представленных экспертами, в одну общую оценку не приводится.

Итоговая оценка научной организации определяется как сумма общих оценок за все результаты завершенных за определенный период времени фундаментальных и прикладных исследований, а также за результаты, включенные в инновационный процесс [50].

Из рассмотренных общих положений можно сделать вывод, что в нормативных правовых документах наиболее неопределенным является порядок оценки одного РНД из-за того, что не приведен способ определения общей его оценки по векторным числовым показателям, выставленным экспертами. В связи с этим можно констатировать, что в них изложен методический подход к оценке конкретного РНД, который не доведен до уровня методики, позволяющей оценивать результаты научных организаций.

Для нормативных правовых актов это вполне приемлемо, так как в них подходы могут рассматриваться на высоком уровне обобщения. Однако для практической оценки результатов исследований научных организаций необходима завершенная методика. При разработке такой методики основные положения рассмотренного методического подхода обязательны, так как они имеют законодательно-нормативный статус. В этой связи необходим анализ этого подхода с целью определения путей его доработки до уровня методики. Такой анализ будет осуществлен ниже.

## **11.2. Анализ методического подхода к оценке отдельных результатов научной деятельности**

Из анализа нормативных правовых документов [50, 51], приведенного в предыдущем параграфе, следует, что методический

подход к оценке каждого конкретного результата исследований включает следующие этапы:

1) определение по шкалам «1–5» векторных числовых показателей качества РНД по всем критериям назначенными экспертами, которые представляют их ученым (научно-техническим) советам организаций-исполнителей в письменных заключениях;

2) обобщение векторных показателей в одну общую оценку РНД ученым (научно-техническим) советом организации-исполнителя.

Первый этап данного методического подхода предусматривает, как отмечалось в предыдущем параграфе, определение числовых оценок экспертами путем сопоставления свойств результатов с их характеристиками для пяти уровней числовых оценок по шкале «1–5» для всех критериев. При определении показателей по некоторым критериям экспертами учитываются формы государственного или общественного признания. Существенной положительной стороной такого подхода к определению числовых оценок является то, что использование шкал «1–5» позволяет определять соотносящиеся между собой оценки для всех результатов как фундаментальных, так и прикладных исследований в областях естественных, общественных и технических наук. А это обуславливает возможность суммирования общих оценок за любые РНД при оценке результатов научных организаций, а также сравнительную оценку результатов всех этих коллективов независимо от области науки.

Первый этап рассматриваемого методического подхода по сути представляет собой прямую задачу квалиметрии — задачу оценки свойств, охватываемых частными критериями, таких сложных объектов, какими являются РНД. Сложность результатов обуславливает невозможность использования при измерении их свойств количественных показателей. Для этой цели используются субъективные измерения экспертов по шкалам «1–5» с переводом качественных показателей свойств РНД в числовые оценки. Следовательно, на первом этапе решается неструктуризованная задача оценки результатов по многим критериям.

В отношении совершенствования порядка выполнения данного этапа можно высказать некоторые суждения.

Во-первых, шкалирование свойств, охватываемых критериями, числами в пределах от 1 до 5 позволяет оценивать только такие результаты, которые не очень значительно отличаются друг от друга по объему, значимости и качеству. Такого диапазона шкалирования достаточно для оценки результатов научных организаций, РНД которых приблизительно равны по объему, значимости

и качеству. Но опыт показывает, что это далеко не всегда так: в научных организациях результаты по этим признакам могут быть настолько дифференцированы, что использование шкалы «1–5» не позволит с приемлемой степенью объективности провести их оценку из-за нивелирования существенных различий между объемами и качеством результатов. Ведь самый важный РНД может получить максимальную числовую оценку по критерию, равную 5, а самый малозначительный — 1.

Еще более высокая «контрастность» по «весу» РНД в вузах, где проводится широкий по глубине и значимости спектр исследований, начиная с фундаментальных и важных прикладных проработок опытных ученых, структурных научных подразделений и творческих коллективов и заканчивая частными изысканиями, в которых участвуют начинающие и малоопытные исследователи. Например, при оценке научной работы в подразделениях Военной академии приходится оценивать соотносящимися между собой числовыми показателями РНД, в значительной степени отличающиеся друг от друга по объему, значимости и качеству: от монографий, докторских диссертаций и т.п. до тематических указателей литературы, научных работ слушателей и курсантов. В других вузах имеет место такой же «разброс» важности РНД. И диапазон оценок по критериям от 1 до 5 не позволит учесть объективный диапазон различий результатов по объему, значимости и качеству. Конечно, часть РНД вузов не входит в перечень результатов, которые согласно нормативным правовым актам должны подвергаться оценке (указаны в п. 11.1). Однако их приходится оценивать.

Во-вторых, напрашивается вывод, что методический подход исходит из признания одинаковой важности результатов фундаментальных и прикладных исследований. При этом оценки научным организациям определяются простым суммированием оценок за все фундаментальные и прикладные результаты. Вместе с тем значительное число специалистов высказывало мнение о том, что РНД фундаментальных и прикладных исследования имеют различный «вес», который, видимо, необходимо учитывать.

В-третьих, в примерных перечнях приведены результаты фундаментальных и прикладных исследований в сфере естественных, технических и общественных наук с точки зрения форм научного знания, например, сделано открытие (открыт закон, закономерность), разработана научная теория, выдвинута и обоснована научная гипотеза и т.д. (полно они изложены в п. 11.1). Шкалы «1–5» для определения показателей РНД по различным критериям также в определенной мере ориентированы на формы научного знания.



Вместе с тем результаты, содержащие эти формы научного знания, всегда представляются в той или иной форме: в форме отчета о научно-исследовательской работе (НИР), монографии, научного труда, учебника, научной статьи, опубликованного доклада на научном форуме и т.д. Поэтому оценка осуществляется, как правило, не закона, научной теории и т.п. в чистом виде, а отчета о НИР, монографии и т.д., т.е. форм представления РНД по четырем или пяти критериям с учетом наличия в них одной или нескольких форм нового научного знания. Например, при изложении вопросов организации и порядка оценки результатов рассматривались такие формы их представления как отчеты о научно-исследовательских работах и проекты [50].

По итогам анализа первого этапа методического подхода к оценке конкретного РНД можно сделать вывод, что он может быть этапом методики, так как порядок оценки результатов в целом определен. Вместе с тем, с точки зрения пригодности для оценки широкого по важности спектра результатов, его содержание нуждается в совершенствовании. Оно заключается, как было показано выше, в необходимости использования шкалы со значительно большим диапазоном значений показателей, учета различных «весов» результатов фундаментальных и прикладных исследований, а также ориентации на оценку форм представления РНД при наличии в них различных форм научных знаний. Вариантность выполнения первого этапа обуславливает возможность рассмотрения нескольких вариантов методики оценки результатов, которые отличаются друг от друга объемом учитываемых факторов и, следовательно, сложностью.

Второй этап представляет собой задачу определения числового показателя качества РНД по векторному числовому показателю, состоящего из числовых показателей свойств, т.е. частных показателей качества. В отношении данного этапа можно отметить, что в нем изложена только идея определения общей оценки РНД. Ее определение по векторным числовым показателям, представленным экспертами, возложено на советы или приемочные комиссии фразой «на основе обобщения всех оценок, представляемых экспертами» [50, с.100]. Осуществить такое обобщение непросто. Прежде всего, надо преобразовать числовые показатели свойств, представленные каждым экспертом, в один частный показатель качества, соответствующий конкретному критерию. А затем обобщить частные показатели качества РНД, определенные для различных критериев, в одну оценку — показатель качества, что также представляет некоторую сложность. Например, нельзя определять общую оценку за РНД учетом только оценок по

каждому из критериев, например, их усреднением или простым суммированием. Ведь каждый из критериев оказывает различную степень интенсивности влияние на качество результата и, следовательно, на его общую оценку, т.е. имеет различную важность. А это обстоятельство предопределяет необходимость при определении общей оценки РНД каким-то образом учитывать «вес» свойств, охватываемых критериями.

Из анализа второго этапа методического подхода следует вывод, что для формирования методики оценки результата исследований необходимы разработка или выбор способа определения общей его оценки на основе векторных числовых показателей, представленных экспертами.

Проведенный анализ методического подхода к оценке конкретного РНД позволил определить основные пути разработки методики, которая позволила бы оценивать результаты исследований научных организаций и вузов. Перед проведением такой работы имелась необходимость в изучении методик, которые применялись в вузах для оценки РНД с целью использования их положительных сторон. Этому вопросу посвящен следующий параграф главы.

### **11.3. Анализ методики оценки результатов научной деятельности, используемой в одном из вузов**

Автор знакомился с методиками оценки РНД нескольких вузов. Поэтому анализ, который будет проводиться в этом параграфе, не претендует на широкое обобщение опыта всех или большей части вузов. Более того, он будет основываться на рассмотрении проекта методики, который был разработан в Военной академии до 1997 г. дал повод для обоснования более совершенной методики. Это обусловлено тем, что методики некоторых вузов, с которыми удалось ознакомиться, были примерно одного уровня с «академической», т.е. в чем-то ее превосходили, в чем-то уступали. Проект методики приведен в приложении 2. Анализ показал, что данной методике были свойственны как достоинства, так и недостатки.

Основным достоинством проекта методики являлась простота и оперативность определения оценок, а также малые затраты остальных ресурсов. Простота, потому что оценки по ней мог определять подготовленный специалист научно-исследовательского отдела. Оперативность, потому что для определения оценок за РНД и общих оценок подразделениям требовались незначительное время. Ведь, например, для оценки подразделения достаточно было иметь перечень видов РНД (реализаций), взять из заранее

составленной таблицы значения усредненных коэффициентов важности и просуммировать их. Затем рассчитать по формуле (2.2) прил. 2 удельный показатель эффективности. Незначительность затрачиваемых ресурсов обуславливалась тем, что для оценки не требовалось привлечение и сравнительно длительная работа групп экспертов, т.е. экономились интеллектуальные, временные, да и материальные ресурсы на обеспечение таких групп.

К основным недостаткам методики относились следующие недостатки.

1. Методика не в полной мере соответствовала требованиям основным нормативным правовым актам, регламентирующим научную деятельность и ее оценку [49–51].

Так, во-первых, методика декларировала проведение оценки эффективности научной работы. В то же время, как показано в предыдущих параграфах главы, нормативные правовые акты предусматривают квалиметрический подход к оценке: результаты оцениваются числовыми показателями по 4–5 критериям, охватывающим все их основные свойства и в целом определяющим качество РНД.

В четвертой главе отмечалось, что эффективность — это наиболее общее, определяющее свойство любой целенаправленной деятельности, которое раскрывается через категорию цели и объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени. Она, как правило, характеризуется векторным показателем эффективности, включающим показатели целевого результата, затрат времени и ресурсов.

В методике все виды реализаций и результаты научной работы подразделений оцениваются весовыми коэффициентами, характеризующими качество реализаций и научной работы, а не векторным показателем эффективности, т.е. в методике также был использован не эффективностный, а квалиметрический подход к оценке, только не согласованный с существующими требованиями [49–51].

Кроме того, использование показателя реализации для оценки качества РНД видится не вполне корректным. Ведь не все РНД в короткие сроки реализуются на практике, особенно результаты фундаментальных исследований. И если использовать показатель реализации, то часть РНД просто не может быть оценена. Чтобы избежать этого, в методике в ранг реализаций возведены и отчеты о НИР, и научные статьи, и участие в учениях, комиссиях и т.п., и монографии, и др., которые, несомненно, являются РНД, но не всегда реализацией этих результатов.

Во-вторых, в проекте методики начислялись баллы за реализацию хозяйственных денежных средств и т.д. Это, особенно реали-

зация денежных средств, в некоторой мере противоречит требованиям нормативных правовых актов, в которых к РНД отнесены только новые знания и лабораторные, экспериментальные и опытные образцы объектов и процессы, а также документация на эти образцы и процессы [49, 50].

В-третьих, методика предусматривала весьма значительные значения показателя реализации за защищенные диссертации, а также за присвоение ученых званий профессора и доцента.

В нормативных правовых актах по оценке РНД [49, 50] речь о начислении баллов за эти результаты не ведется, хотя подготовка научных работников высшей квалификации отнесена к виду научной деятельности. Видимо, было учтено, что согласно п. 8 действующего на то время Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий [52], как и п. 18 ныне действующего [53], основные результаты диссертаций должны быть опубликованы до начала приема диссертаций к защите и за них уже начислены соответствующие баллы, а ученые звания профессора и доцента характеризуют уровень профессионализма педагогов и не являются научными результатами.

Вместе с тем, по нашему мнению, защищенные диссертации являются РНД, подлежат оценке, но не такими большими баллами, какие предусматривала методика, чтобы избежать двойной оценки результатов: в опубликованных работах и в самой диссертации. Эти баллы должны соответствовать тем РНД диссертаций, которые не опубликованы в других работах до защиты, и диссертации в целом как обобщенного результата, констатирующего появление нового научного работника высшей квалификации.

2. В методике предусматривалась оценка всего 23 видов РНД, что не охватывало всех возможных их видов. Кроме того, использование жестких однозначных усредненных значений коэффициентов важности реализаций настолько нивелировал значимость, объем и качество результатов, что не позволяло даже вести речь о приемлемой объективности оценок и постоянно вызывало недовольство подразделений, подвергающихся оцениванию.

3. Методика не учитывала принятое категорирование некоторой части РНД, в соответствии с которым выделяются три категории результатов:

1-я категория — полученные во исполнение постановлений Правительства (Совета Безопасности) Республики Беларусь;

2-я категория — полученные по приказам Министерства обороны, других министерств и республиканских органов государственного управления;

3-я категория — полученные по инициативным темам.

Это неправомерно, так как более высокая категория обуславливает и более высокий уровень, масштаб и значимость РНД.

4. Вызывала сомнение у некоторых специалистов рациональность расчета приведенного числа сотрудников по формуле (3.1) прил. 3.

Так, при расчете приведенного числа сотрудников для докторов и кандидатов наук были введены повышающие коэффициенты, равные соответственно 1,5 и 1,25, что приводило к снижению величины удельного показателя для подразделений, имеющих ученых высшей квалификации. Это «наказание» за наличие научных работников высшей квалификации вызывало неоднозначную оценку у специалистов. Некоторые из них высказывали мнение о том, что надо исключить эти коэффициенты, так как в принципе неважно, кто получил РНД, лишь бы они были. Окончательный вердикт по этому вопросу должна была вынести групповая экспертиза.

5. В отношении значений показателей реализации актуальным виделся вопрос: «Как они обосновывались?» Этот вопрос правомерен, так как за докторскую диссертацию показатель был равен 100, кандидатской — 50, за подготовку докторанта и адъюнкта (защитившихся) — соответственно 20 и 10, за отчет о НИР любой сложности и качества — 5, за тематический указатель литературы — 3 и т.д. Из данных примеров виден значительный разброс значений показателей и нивелировка оценок за РНД разной сложности.

Например, докторская и кандидатская диссертация оказались эквивалентными соответственно 20 и 10 отчетам о НИР, хотя редко какое подразделение способно выполнить за год такое количество отчетов, а за РНД, полученные в диссертациях, как отмечалось ранее, баллы уже получены за счет публикаций или реализации в проектах и процессах этих результатов. А отчет по любой НИР оценен практически одинаково с тематическим указателем литературы, невзирая на то, что это далеко не равнозначные по объему и значимости РНД. Ведь, над отчетами работают значительное время, как правило, большие коллективы научных работников и решают в них научные и прикладные проблемы и задачи, несоизмеримые с задачами, решаемые в указателях литературы.

В этой связи возникло сомнение в том, что значения показателей реализации обосновывались с применением какого-либо метода научных исследований. В то же время, такие методы в то время уже имелись.

6. В методике было очень много реализаций по военно-технической проблематике и мало — по оперативно-тактической. Это можно объяснить тем, что разработка методики основывалась на

методических материалах бывшего инженерного училища, в котором закономерно господствовали военно-технические исследования. С образованием Военной академии значимость и масштаб оперативно-тактических исследований возросли, и данное обстоятельство должно было найти отражение в методике оценки РНД.

Учитывая, что основные результаты исследований по оперативно-тактической проблематике оформляются в виде отчетов о НИР, прежде всего, необходимо было провести дифференциацию отчетов по важности и сложности, как это и предусматривается нормативной правовой базой по научной деятельности, и повысить их «вес».

Анализ проекта методики оценки научной работы в подразделениях академии был проведен с конструктивными намерениями. Уже факт его существования являлся большим положительным фактором и несомненной заслугой разработчиков. Тем более что он был создан до вступления в силу нормативных правовых документов, регламентирующих научную деятельность в республике. Критический анализ понадобился для одной единственной цели: разработать более совершенную методику, которая к тому же соответствовала бы требованиям основных нормативных правовых актов по вопросам научной деятельности и ее оценке.

#### 11.4. Обоснование методики оценки РНД научных организаций, вузов и структурных подразделений

Методический подход к оценке РНД, рассмотренный в пп. 11.1 и 11.2, превратится в методику, если будет однозначно разработан порядок определения общей числовой оценки за РНД научных организаций, вузов и структурных подразделений (в дальнейшем — научных организаций) за некоторый период времени. Эта оценка  $Q_{\text{рнд}}$ , судя по требованиям нормативных правовых актов [50, 51] и по анализу, проведенному в предыдущих параграфах главы, может быть определена по формуле

$$Q_{\text{рнд}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{рф}}} K_{\text{вф}i} Q_{\text{рф}i} + \sum_{\gamma=1}^{N_{\gamma}} \sum_{j=1}^{N_{\text{рн}}} Q_{\text{рн}j\gamma}, \quad (11.1)$$

где  $N_{\text{рф}}$  — количество результатов фундаментальных исследований;  $K_{\text{вф}i}$  — коэффициент относительной важности  $i$ -го результата фундаментальных исследований, увеличивающий его «вес» по сравнению с соответствующим ему по уровню общей оценки прикладным результатом;  $Q_{\text{рф}i}$  — оценка (показатель качества)  $i$ -го фундаментального результата;  $N_{\gamma}$  — количество групп остальных оцениваемых результатов (кроме фундаментальных);  $N_{\text{рн}}$  —

количество РНД в  $s$ -й группе;  $Q_{psj}$  — оценка (показатель качества)  $j$ -го результата  $s$ -й группы.

Группа экспертов высказала мнение, что более объективной оценкой РНД научной организации или подразделения будет удельная оценка  $q_{pнд}$ , рассчитанная по формуле

$$q_{pнд} = \frac{Q_{pнд}}{N_{сп}}. \quad (11.2)$$

Из формулы (11.4) следует, что для расчета оценки за РНД научной организации достаточно уметь определять коэффициенты относительной важности результатов фундаментальных исследований и общие согласованные между собой оценки за каждый фундаментальный, прикладной результат и результат, включенный в инновационный процесс.

Значения коэффициентов относительной важности результатов фундаментальных исследований, по мнению большинства опрошенных специалистов, целесообразно определять индивидуально для каждого из них проведением групповой экспертизы. Это обуславливается возможным большим диапазоном их дифференциации по важности, что делает нерациональным использование при оценке усредненных значений коэффициентов. Тем более что результатов фундаментальных исследований в научных организациях не так и много. Один из вариантов определения значений коэффициентов относительной важности результатов фундаментальных исследований будет рассмотрен в конце этого параграфа.

Общая оценка любого  $k$ -го РНД  $Q_{pk}$  (фундаментального, прикладного или включенного в инновационный процесс) может быть определена (в соответствии с положениями об обобщенном показателе, изложенными в пункте 7.4.1) на основе использования аддитивной функции агрегирования, т.е. по формуле

$$Q_{pk} = \sum_{l=1}^{N_k} K_{nlk} Q_{pkl}, \quad (11.3)$$

где  $N_k$  — количество критериев, по которым оценивается  $k$ -й результат;  $K_{nlk}$  — нормированный коэффициент важности  $l$ -го критерия для  $k$ -го результата, определяемый экспертным способом, который будет рассмотрен несколько ниже;  $Q_{pkl}$  — числовая оценка  $k$ -го РНД по  $l$ -у критерию, определяемая в результате усреднения оценок (показателей), выставленных каждым из экспертов по данному критерию, например, расчетом среднего геометрического по формуле

$$Q_{pkl} = \left( \prod_{m=1}^{N_s} Q_{pklm} \right)^{1/N_s}, \quad (11.4)$$

где  $N_s$  — количество экспертов, участвующих в оценке;  $Q_{pklm}$  — оценка  $k$ -го РНД по  $l$ -у критерию, выставленная  $m$ -м экспертом с использованием шкалы «1–5» по таблицам, приведенным в прил. 1.

В подп. 7.3.2 были рассмотрены методы определения значений коэффициентов важности частных показателей, в том числе непосредственной числовой оценки, балльного оценивания и попарных сравнений с градациями. Эти методы могут использоваться для определения значений коэффициентов важности критериев, по которым оцениваются РНД. Из них в настоящее время наиболее предпочтительным является метод попарных сравнений с градациями, реализованный на основе шкалы «1–9» МАИ. Для расчета значений коэффициентов важности группой экспертов формируется матрица попарных сравнений критериев по важности, приведенная в табл. 9.1. Затем по формуле (9.1) проводится расчет величин локальных приоритетов критериев, которые являются нормированными значениями коэффициентов важности этих критериев.

В п. 11.1 показано, что результаты фундаментальных и прикладных исследований оцениваются по четырем критериям (новизне, значимости для науки и практики, объективности и доказательности). Результаты прикладных исследований при создании действующих моделей и образцов новой техники и технологических процессов дополнительно оцениваются по пятому критерию — точности. Результаты исследований, включенных в инновационный процесс, оцениваются по четырем критериям, так как при этом не используется такой критерий, как доказательность. В соответствии с этим экспертам необходимо сформировать матрицы попарных сравнений критериев, по которым затем рассчитываются значения коэффициентов важности критериев для указанных выше вариантов оценки различных результатов исследований. Это означает, что РНД необходимо разделить на шесть следующих групп:

- 1) результаты фундаментальных исследований в области естественных и технических наук;
- 2) результаты фундаментальных исследований в области общественных наук;
- 3) результаты прикладных исследований в области естественных и технических наук;
- 4) результаты прикладных исследований в области общественных наук;



5) результаты прикладных исследований при создании действующих моделей и образцов техники и технологических процессов;

6) результаты исследований, включенных в инновационный процесс.

Основанием для выделения данных шести групп, как было отмечено выше, является отличие в используемых для оценки результатов критериях или в величинах их относительной важности. При этом заполняются шесть таблиц попарных сравнений, так как для фундаментальных и прикладных исследований необходимо формировать отдельные таблицы для результатов в областях естественных, технических и общественных наук ввиду разной важности в них одних и тех же критериев.

Примечательным является то обстоятельство, что определение значений коэффициентов для дальнейшего многократного использования целесообразно осуществить один раз. Повторные экспертизы могут проводиться только в том случае, если эксперты посчитают, что по какой-либо причине относительная важность критериев изменилась. В ходе обсуждения высказывались мнения, что значения коэффициентов важности критериев необходимо определять отдельно при оценке каждого результата. Это не исключено, но существенно усложнит и так непростой процесс оценки. Варианты матриц попарных сравнений критериев по важности, сформированных группами экспертов, и рассчитанные по ним значения коэффициентов относительной важности приведены в табл. 11.1–11.6.

Таблица 11.1

**Матрица попарных сравнений и значения коэффициентов относительной важности критериев для результатов фундаментальных исследований в области естественных и технических наук**

Критерии	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	Значение коэффициента относительной важности
$K_1$ – новизна	1	2	1,1	1,5	0,3048
$K_2$ – значимость	1/2	1	1/2	1/1,6	0,1691
$K_3$ – объективность	1/1,1	2	1	1,4	0,2925
$K_4$ – доказательность	1/1,5	1,6	1/1,4	1	0,2336

ОС = 3,33%

Таблица 11.2

**Матрица попарных сравнений и значения коэффициентов относительной важности критериев для результатов фундаментальных исследований в области общественных наук**

Критерии	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	Значение коэффициента относительной важности
$K_1$ – новизна	1	2	1,5	1	0,3342
$K_2$ – значимость	1/2	1	1/1,5	1/2	0,1623
$K_3$ – объективность	1/1,5	1,5	1	1/1,5	0,1693
$K_4$ – доказательность	1	2	1,5	1	0,3342

ОС = 1,11%

Таблица 11.3

**Матрица попарных сравнений и значения коэффициентов относительной важности критериев для результатов прикладных исследований в области естественных и технических наук**

Критерии	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	Значение коэффициента относительной важности
$K_1$ – новизна	1	1/2	1/1,5	1,2	0,2054
$K_2$ – значимость	2	1	1,2	2	0,3214
$K_3$ – объективность	1,5	1/1,2	1	1,8	0,2858
$K_4$ – доказательность	1/1,2	1/2	1/1,8	1	0,1875

ОС = 4,22%

Таблица 11.4

**Матрица попарных сравнений и значения коэффициентов относительной важности критериев для результатов прикладных исследований в области общественных наук**

Критерии	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	Значение коэффициента относительной важности
$K_1$ – новизна	1	1/1,5	1	1	0,2222
$K_2$ – значимость	1,5	1	1,5	1,5	0,3333
$K_3$ – объективность	1	1/1,5	1	1	0,2222
$K_4$ – доказательность	1	1/1,5	1	1	0,2222

ОС = 0,00%

Таблица 11.5

**Матрица попарных сравнений и значения коэффициентов относительной важности критериев для результатов прикладных исследований при создании действующих моделей и образцов техники и технологических процессов**

Критерии	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	Значение коэффициента относительной важности
$K_1$ – повизна	1	1/1,5	1,2	1,5	1/1,8	0,1779
$K_2$ – значимость	1,5	1	1,8	2	1,2	0,2804
$K_3$ – объективность	1/1,2	1/1,8	1	1,3	1/1,1	0,1710
$K_4$ – доказательность	1/1,5	1/2	1/1,3	1	1/1,8	0,1307
$K_5$ – точность	1,8	1/1,2	1,1	1/1,8	1	0,2399

ОС = 0,41%

Таблица 11.6

**Матрица попарных сравнений и значения коэффициентов относительной важности критериев для результатов исследований, включенных в инновационный процесс**

Критерии	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	Значение коэффициента относительной важности
$K_1$ – повизна	1	1/1,1	1,8	1,5	0,2635
$K_2$ – значимость	1,1	1	2	1,8	0,3280
$K_3$ – объективность	1/1,8	1/2	1	1/1,5	0,1809
$K_4$ – точность	1/1,5	1/1,8	1,5	1	0,2275

ОС = 4,67%

Характерным при заполнении данных матриц попарных сравнений является то, что эксперты использовали для своих суждений об относительной важности критериев не целые, а дробные числа. Это было обусловлено незначительными отличиями критериев по важности, что не позволяло достичь приемлемой степени объективности определяемых значений коэффициентов важности в случае использования только целых чисел шкалы «1–9».

После определения значений коэффициентов относительной важности критериев методический подход к оценке РНД, рассмотренный в п. 11.2, превращается в первый вариант методики. В этом варианте предполагается одинаковая важность результатов фунда-

ментальных и прикладных исследований. При этом в формуле (11.4) значение  $K_{\text{вфг}}$  будет равно 1. Это предельно упрощает методику, так как нет необходимости проводить групповую экспертизу для определения значений коэффициентов важности результатов фундаментальных исследований. Однако такая методика, по мнению большинства опрошенных экспертов, недостаточно корректна, так как не учитывает возможное значительное качественное различие результатов фундаментальных и прикладных исследований. Его можно использовать только при раздельной оценке результатов фундаментальных и прикладных исследований.

Во втором варианте методики учитывается мнение большинства экспертов о необходимости учета возможной большей важности результатов фундаментальных исследований по сравнению с прикладными. Методика оценки РНД усложняется, так как необходимо определение значений коэффициентов важности результатов фундаментальных исследований. Для этой цели могут использоваться различные методы. Речь об одном из них пойдет, как уже отмечалось выше, в конце параграфа после рассмотрения третьего варианта методики оценки результатов.

Положительной стороной двух рассмотренных вариантов методики определения общей оценки за каждый результат исследований является относительная их простота. Вместе с тем, как уже отмечалось в п. 11.2, шкалы «1–5», как правило, далеко недостаточно для оценки по критериям всех РНД, которые могут значительно отличаться друг от друга по объему, значимости и качеству. Следовательно, с точки зрения потребностей практики, существует необходимость разработки методики оценки РНД со значительно более широкими, по сравнению со шкалой «1–5», возможностями оценки различающихся по уровням качества результатов.

В самом общем случае неструктуризованная задача оценки (измерения) качества РНД по многим критериям, решение которой должна обеспечить такая методика, заключается в следующем.

Имеется множество результатов научной деятельности  $N_p = \{N_{ps}\}_{s=1, N_r}$ , которое включает  $N_r$  выделенных по некоторым признакам групп (подмножеств). Члены этих подмножеств существенно отличаются друг от друга по качеству. Результаты сложные, так как оцениваются по вектору критериев, которые не могут характеризоваться количественными показателями. Необходимо измерить их качество с определением согласованных числовых оценок, характеризующих уровень качества каждого результата.

Перед рассмотрением пунктов методики целесообразно выработать подход к решению такой задачи.

Для решения данной задачи можно использовать МАИ. При этом однозначно определен вид декомпозиции решаемой задачи в иерархию: «цель–критерии–альтернативы». Порядок определения числовых показателей качества будет рассмотрен сначала для одной абстрактной  $s$ -й группы результатов. Так как МАИ предусматривает одновременную оценку не более девяти результатов, а  $N_{ps}$  может значительно превосходить это число, то, как правило, оказывается целесообразным проведение итеративного процесса. Для этого сначала необходимо провести грубое ранжирование результатов по уровню качества. Затем делается первая выборка из ранжированного множества РНД, разброс уровней качества которых не должен выходить за пределы диапазона шкалы «1–9», заполняются матрицы попарных сравнений критериев (см. табл. 11.1–11.6) и альтернатив и с помощью алгоритма МАИ рассчитываются величины глобальных приоритетов результатов, которые характеризуют их уровень качества в числовом виде.

Отсюда следует, что при грубом ранжировании важно, чтобы была соблюдена только тенденция убывания важности результатов. В принципе, размещение результатов с различным уровнем качества в пределах одной выборки может быть произвольным. Результат с наименьшим уровнем качества может быть на первом месте в выборке, а с наибольшим уровнем — на последнем, а разность их уровней качества не должен выходить за пределы диапазона шкалы «1–9». Данное обстоятельство значительно облегчает работу группы экспертов, так как соблюсти подобное требование не представляет практически никакой сложности: эксперты всегда смогут провести более корректное ранжирование, например, толерантное.

Затем формируется вторая выборка из ранжированного подмножества результатов с включением в нее одного–трех РНД с меньшими уровнями качества из первой выборки, и проводится расчет числовых показателей качества входящих в нее результатов. Так как показатели качества РНД первой и второй выборок не соизмеряются между собой, то проводится пересчет показателей качества результатов второй выборки на основе анализа соотношения значений показателей качества, полученных при первом и втором подсчетах, одного–трех результатов первой выборки, включенных во вторую выборку.

Такой итеративный процесс продолжается до тех пор, пока не будут определены согласованные между собой показатели качества всех результатов подмножества  $N_{ps}$ . Аналогичные итеративные процессы проводятся для всех подмножеств множества  $N_p$ .

Следует отметить, что определенные таким способом показатели качества для различных подмножеств результатов нельзя

суммировать, так как они не согласованы между собой. Устранить данный недостаток можно путем включения в одну из выборок каждого подмножества базовых результатов, имеющих одинаковый уровень качества, и определения числовых показателей их качества с последующим нормированием ими показателей качества всех РНД подмножеств.

Изложенный выше подход к решению неструктуризованной многокритериальной задачи измерения качества множеств результатов позволяет разработать третий вариант методики оценки РНД научных организаций, вузов, структурных подразделений и временных творческих коллективов. Эта методика обеспечит осуществлять оценку любых результатов в согласованных между собой числовых оценках, которые можно суммировать.

Согласно методике в первую очередь необходимо провести сортировку всех результатов на группы по признакам сферы приложения научного труда, видов научных исследований и применяемых при оценке критериев. Согласно нормативным правовым документам выделяются, как было показано выше, шесть групп РНД.

После этого необходимо провести в каждой из выделенных групп грубое ранжирование результатов, суть которого рассмотрена при изложении общего подхода к решению задачи оценки РНД с использованием МАИ.

Затем организуются итеративные процессы определения числовых показателей качества альтернатив для РНД всех шести групп. Ниже будет рассмотрен такой итеративный процесс для одной группы абстрактных результатов, так как процессы для всех шести групп РНД идентичны.

По матрицам попарных сравнений критериев (одна из табл. 11.1–11.6) и альтернатив (заполняются группой экспертов) рассчитываются с помощью алгоритма МАИ числовые значения показателей качества РНД первой и последующих выборок. При этом в каждую выборку, начиная со второй, включаются один–три результата предыдущей выборки с меньшими значениями показателей качества. Значения показателей качества РНД всех выборок, кроме первой, рассчитываются по формуле

$$Q_{pm} = K_{cr} Q_{pmr}, \quad (11.5)$$

где  $Q_{pmr}$  — значение показателя качества  $n$ -го результата  $r$ -й выборки, согласованное со значениями показателей качества всех результатов группы;  $Q_{pmr}$  — исходное значение показателя качества  $n$ -го результата  $r$ -й выборки, т.е. определенное с помощью МАИ в ходе цикла итеративного процесса;  $K_{cr}$  — коэффициент согласования для результатов  $r$ -й выборки, определяемый по формуле

$$K_{cr} = \frac{Q_{p(r-1)}}{Q_{pr}}, \quad (11.6)$$

где  $Q_{p(r-1)}$  — усредненное значение показателя качества одного-трех результатов предыдущей  $(r-1)$ -й выборки с меньшими значениями показателей, рассчитанное для своей выборки;  $Q_{pr}$  — усредненное значение показателя качества тех же одного-трех результатов  $(r-1)$ -й выборки, рассчитанное для  $r$ -й выборки.

Усредненные значения показателей качества одного-трех результатов (с меньшими значениями показателей в своей выборке) как в своей  $(r-1)$ -й, так и последующей  $r$ -й выборке  $Q_{pr}$  рассчитывается по формуле

$$Q_{pr} = \left( \prod_{t=1}^{N_{pr}} Q_{pt} \right)^{\frac{1}{N_{pr}}}, \quad (11.7)$$

где  $N_{pr}$  — количество (один-три) результатов, выбранных для расчета коэффициента согласования;  $Q_{pt}$  — значение показателя качества  $t$ -го результата (выбранного для расчета коэффициента согласования), определенное с помощью МАИ в данной выборке.

В результате итеративного процесса формируется подмножество согласованных между собой показателей качества всех результатов данной  $s$ -й группы  $Q'_{ps}$  вида

$$Q'_{ps} = \{Q'_{psj}\}_{j=1, N_{ps}}, \quad (11.8)$$

где  $Q'_{psj}$  — значение показателя качества  $j$ -го РНД данной группы.

После оценки результатов всех шести групп с проведением итеративных процессов будут сформированы шесть таких подмножеств, в которых показатели качества результатов согласованы внутри групп, но не согласованы между группами. Это позволяет суммировать показатели РНД внутри групп, но исключает суммирование показателей результатов из различных групп.

Для согласования значений показателей качества результатов, входящих в различные группы, в одну из выборок для каждой группы при проведении итеративных процессов необходимо включить базовые результаты, как отмечалось выше, с одинаковыми уровнями качества. При определении значений показателей качества РНД необходимо использовать шесть базовых результатов (по два фундаментальных и прикладных результаты соответственно в областях естественных, технических и общественных наук, оцениваемые по четырем критериям; прикладной результат при создании действующих макетов и образцов; результат исследований, включенный в инновационный процесс), т.е. для каждой из групп. Уро-

вень свойств и качества базовых результатов требует специального обоснования, что представляет собой довольно непростую задачу.

В этой связи можно использовать уже имеющиеся наработки по характеристике свойств результатов с различными уровнями качества. Так, в таблицах прил. 1 дана характеристика свойств и качества всех шести групп РНД, которые соответствуют значениям показателя качества в пределах от 1 до 5 по всем критериям. В качестве базового может использоваться любой результат, в том числе лучший или худший. Здесь главное, чтобы во всех группах использовались одинаковые по уровням качества базовые результаты. Но опыт исследований показал, что рациональнее всего выбирать в качестве базового средний по качеству результат. Данное обстоятельство обуславливается тем, что относительно среднего по качеству РНД удобнее сравнивать результаты, которые превосходят средний по качеству или уступают ему. Следовательно, в качестве базовых целесообразно по возможности использовать результаты с числовыми показателями по всем критериям, равными 3. Естественно, что базовые результаты должны включаться в выборки, содержащие соизмеримые с ними по качеству РНД.

Для получения согласованных показателей качества результатов всех групп необходимо нормировать значения показателей каждого их результата своими для каждой группы значениями показателей качества базовых результатов. Это означает, что показатели качества РНД для любой  $s$ -й группы рассчитываются по формуле

$$Q_{psj} = \frac{Q'_{psj}}{Q_{psb}}, \quad (11.9)$$

где  $Q_{psj}$  — значение нормированного показателя качества  $j$ -го результата  $s$ -й группы;  $Q_{psb}$  — значение показателя качества базового результата  $s$ -й группы.

Значения числовых показателей качества результатов  $Q_{psj}$ , рассчитанные по формуле (11.12), из-за значительной дифференциации уровней качества различных результатов могут иметь для наименее важных из них малые величины. В этой связи для удобства пользования значения показателей качества РНД всех групп могут умножаться на одинаковый преобразующий коэффициент  $K_n$ , представляющий собой, как правило, целое число, т.е. можно использовать преобразованные значения показателей качества результатов во всех группах  $Q_{pn sj}$ , рассчитываемые по формуле

$$Q_{pn sj} = K_n Q_{psj}. \quad (11.10)$$

Но это не принципиально. Поэтому в дальнейшем будет вестись речь об использовании оценок, рассчитываемых по формулам (11.9) или (11.10).



Так как теперь значения показателей качества РНД всех групп согласованы между собой, то общая оценка научной организации, вуза или структурного подразделения определяется простым суммированием оценок за все результаты, полученные за некоторый промежуток времени, т.е. по формуле (11.1). Естественно, что показатели качества результатов фундаментальных исследований, составляющих первую и вторую группы РНД, используются в первом компоненте этой формулы.

Следовательно, третий вариант методики оценки РНД научных организаций включает следующие этапы:

1) сортировку всех результатов на шесть групп по признакам сферы приложения научного труда, видов научных исследований, применяемых при оценке критериев или величин их относительной важности;

2) определение значений коэффициентов важности критериев для оценки РНД различных групп, выделенных на первом этапе, методом попарных сравнений с градациями, реализованного на основе использования шкалы «1–9» и алгоритма МАИ (если значения коэффициентов определены заранее и не требуется их уточнение, то используются данные, приведенные в таблицах вида табл. 11.1–11.6);

3) определение значений числовых показателей качества всех результатов, согласованных между собою внутри групп, организацией итеративных процессов с использованием МАИ;

4) вычисление величин показателей качества всех результатов, согласованных между собой, их нормированием в группах значениями показателей качества базовых результатов, выбранных для каждой группы с одинаковыми уровнями качества;

5) определение значений коэффициентов важности результатов фундаментальных исследований;

6) вычисление общих оценок научным организациям за РНД, полученные за некоторый период времени, по формуле (11.1).

Порядок выполнения всех этапов методики, кроме пятого, в достаточной мере изложен в данном параграфе выше. Для определения значений коэффициентов важности результатов фундаментальных исследований целесообразно использовать МАИ. Решаемая задача декомпозируется в иерархию «цель—критерии—альтернативы». Значения коэффициентов определяются отдельно для фундаментальных исследований в областях естественных, технических и общественных наук. При этом в качестве базовых используются результаты соответствующих прикладных результатов, охарактеризованных в таблицах прил. 1, так как результаты фундаментальных и прикладных исследований оцениваются по

одинаковым критериям. Предпочтительней использовать базовые результаты с уровнем качества, соответствующим числовому показателю, равному 3. Однако по условию соизмеримости с оцениваемыми фундаментальными результатами могут выбираться в качестве базовых результаты и с другими уровнями качества. Естественным условием согласованности значений коэффициентов важности РНД в областях естественных, технических и общественных наук является использование базовых результатов с одинаковыми уровнями качества.

Матрицы попарных сравнений критериев первоначально заполняются экспертами отдельно для результатов естественных, технических и общественных наук, а затем могут использоваться многократно. Базовые результаты оцениваются совместно с результатами фундаментальных исследований. Если количество оцениваемых фундаментальных результатов до 8, то их оценка осуществляется за один цикл. Значения коэффициентов важности результатов фундаментальных исследований определяются нормированием величин их приоритетов величинами приоритетов базовых результатов. Если количество результатов фундаментальных исследований больше 8, то для определения значений коэффициентов важности организуется итеративный процесс, общий порядок проведения которого изложен при характеристике третьего этапа полномасштабной методики оценки РНД.

Из обоснования содержания пунктов этой методики следует, что применение ее для практической оценки результатов научных организаций затруднено. Это обусловливается, прежде всего, большой трудоемкостью этапов и необходимостью значительных затрат времени групп высококвалифицированных специалистов-экспертов, которое они могут использовать для получения новых РНД. Ведь в научных организациях и вузах, как уже отмечалось выше, за год (как правило, именно за такой период времени подводятся в них итоги научной работы) выпускается очень много форм представления РНД, очень разных по объему, значимости и качеству и содержащих различные формы научного знания. Оценка их всех экспертными группами по вышеизложенной методике в обозримом будущем вряд ли будет возможна из-за гигантских потребных ресурсов времени. Тем более возрастающих при вычленении и индивидуальной оценке из форм представления результатов различных форм научного знания. Справиться с этой работой, возможно, видимо, только при наличии в организациях постоянно действующих, специализированных по различным наукам групп экспертов.

Применение первого варианта методики оценки РНД менее трудоемко. Однако, как было показано в п. 11.2, ей присущи су-

ественные ограничения по диапазону важности оцениваемых результатов и в связи с отсутствием учета возможной большей важности результатов фундаментальных исследований по сравнению с прикладными результатами.

Второму варианту методики присуще такое же ограничение по диапазону важности оцениваемых РНД, как и первому ее варианту. Кроме того, этот вариант методики гораздо сложнее первого из-за необходимости определения значений коэффициентов важности результатов фундаментальных исследований в областях естественных, технических и общественных наук, что довольно трудоемко.

В этой связи в настоящее время актуальна разработка упрощенной методики оценки РНД научных организаций, вузов и структурных подразделений, которая бы в максимально возможной степени учитывала основные требования нормативных правовых актов, обеспечивала оперативность оценки, ее проведение с минимально возможными затратами интеллектуальных ресурсов опытных специалистов и возможность практической реализации. Обоснованию такой методики посвящен следующий параграф главы.

### **11.5. Обоснование упрощенной методика оценки результатов научной деятельности научных организаций, вузов и структурных подразделений**

Разработать упрощенную методику оценки РНД научных организаций, вузов и структурных можно используя основное достоинство проекта методики, рассмотренной в п. 11.3. Оно состояло в том, что был составлен перечень форм представления результатов и установлены усредненные оценки за каждый из них. Это позволяло проводить оценку основного числа РНД научных организаций, вузов и структурных подразделений подготовленными специалистами организационно-плановых или научно-исследовательских отделов.

Вместе с тем методике были свойственны недостатки, которые и были отмечены при ее анализе. К основным из них можно отнести: учет только части возможных форм представления РНД, отсутствие приемлемой степени их дифференциации; обоснование оценок за формы представления результатов без использования современных методов; жесткость и усредненность оценок и обусловленная этим низкая объективность оценивания РНД, так как отсутствовала возможность начисления дополнительных баллов за результаты высокой значимости и качества.

Подходы к обоснование упрощенной методики оценки РНД научных организаций, вузов и структурных подразделений будут охарактеризованы на примере разработки такой методики для

оценки результатов структурных подразделений Военной академии Республики Беларусь.

Новая упрощенная методика оценки должна была сохранить положительные стороны существующего ее проекта, проанализированного в п. 11.3, и в максимально возможной мере преодолеть его недостатки.

Наибольшую сложность представляло определение перечня видов РНД и балльных оценок за них. Первоначально предполагалось использовать для этой цели на первый взгляд самый простой подход. Он заключался в том, что составлялся простой перечень видов РНД и проводилось грубое их ранжирование по важности так же, как осуществлялось ранжирование результатов внутри групп в п. 11.4. Затем для определения оценок за каждый вид использовался метод определения коэффициентов важности с градациями со шкалой «1–9» и алгоритм МАИ для определения величин приоритетов видов, т.е. аналогично с определением коэффициентов важности критериев в предыдущем параграфе. Отличие состояло только в том, что число критериев не превышало 5, и значения их коэффициентов важности определялись за один цикл, а видов РНД было много и для определения величин их приоритетов требовалось проведения итеративного процесса.

Этот процесс полностью аналогичен итеративному процессу определения согласованных показателей качества результатов внутри групп, описанному в п. 11.4. Так же предполагалось осуществлять последовательные выборки до 9 элементов из перечня результатов и определять величины их приоритетов. Для получения согласованных между собой величин приоритетов всех результатов в каждую последующую выборку планировалось включать от одного до трех элементов предыдущей выборки, причем с наименьшей важностью, т.е. примыкающих к последующей выборке. Согласование величин приоритетов элементов каждой последующей выборки с величинами приоритетов элементов предыдущей выборки так же предполагалось умножением исходных величин приоритетов элементов последующей выборки на согласующий коэффициент, рассчитываемый по формуле (11.6).

Сложности с ранжированием видов РНД не было, так как ранжирование должно было отразить только тенденцию транзитивности суждений экспертов об уменьшении важности видов РНД. Это означает, что ранжирование могло представлять собой не только нестрогий порядок, но и допускало некоторую неупорядоченность элементов по важности. В принципе, как отмечалось в предыдущем параграфе, в выборки можно включать элементы,

разброс важности которых не выходит за пределы используемой шкалы «1–9», которые довольно широки.

Значительные сложности возникли при определении величин приоритетов элементов в выборках. Это было обусловлено тем, что виды РНД в выборках из простого грубо ранжированного по важности их перечня были разноплановы, и эксперты затруднялись в их попарном сравнении. Выход был найден в группировании видов РНД в родственные классы, что значительно облегчало их сравнения. Было решено использовать для оценки результатов классы форм представления РНД: диссертации, научные издания и др. Всего было выделено 16 классов форм представления РНД (см. табл. 11.7). Каждый класс форм включал конкретные виды результатов.

После этого использованием метода с градациями и шкалы «1–9» МАИ было проведено нестрогое ранжирование видов внутри классов с определением согласованных величин их приоритетов и наиболее важного вида для каждого класса. Его порядок изложен также в предыдущем параграфе. Затем аналогично было осуществлено нестрогое ранжирование первых по важности видов в классах между собой с определением величин приоритетов каждого вида. После пересчета величин приоритетов видов во всех классах с учетом коэффициента согласования, также рассчитываемого по формуле (11.6), были получены согласованные между собой величины приоритетов всех видов форм представления РНД, приведенные в табл. 11.7. В результате умножения на постоянный коэффициент, в данном случае равный 2, и округления получены балльные оценки, удобные в пользовании для всех видов, которые содержатся в табл. 11.7. Относительно этой таблицы и содержащихся в ней данных необходимо отметить несколько важных замечаний.

1. Указанная таблица сформирована группой экспертов для оценки РНД структурных подразделений Военной академии. Вместе с тем она полезна не только для военных специалистов, так как в ней содержится много классов и видов РНД, которые характерны для других вузов и научных организаций. Кроме того, важна не столько сама таблица, сколько обоснованная методика ее формирования. Это позволяет сформировать подобные таблицы для любых вузов и научных организаций. Более того, комплексная группа, составленная из экспертов различных специализаций, без особых сложностей может сформировать подобную универсальную таблицу, например, для министерства или ведомства, что обеспечит единый подход к оценке РНД.

2. Таблицы типа табл. 11.7 открыты для совершенствования. Разработанная методика ее формирования позволяет сравнительно просто изменять и наращивать как классы, так и виды форм представления РНД. Например, при включении нового класса не-

обходимо провести грубое ранжирование и определение величин приоритетов видов внутри класса. Затем определить величину приоритета его самого важного вида в выборке из 5–9 элементов, в которую включено необходимое количество близких к нему по значимости наиболее важных элементов других классов с уже известными величинами приоритетов. В заключение рассчитывается коэффициент согласования, пересчитываются величины приоритетов всех видов нового класса и определяются их балльные оценки.

Таблица 11.7

**Перечень классов и видов форм представления РНД, единицы измерения, величины приоритетов и значения баллов для каждого вида**

№ п/п кл.	Наименование классов РНД	№ видов РНД	Наименование вида РНД	Ед. изм.	Велич. приоритета	Знач. балла
1	2	3	4	5	6	7
1.	Диссертации	1	Докторская диссертация (защищенная)	шт.	52,89	100
		2	Кандидатская диссертация (защищенная)		17,63	35
2.	Военное научно-техническое сопровождение (ВНТС) опытно-конструкторских работ <sup>1</sup>	1	Государственных испытаний образца ВВТ; ввода в действие АСУ	шт.	21,54	40
		2	Разработки рабочего проекта и предварительных испытаний образца ВВТ; рабочей документации АСУ		12,59	25
		3	Разработки технического проекта образца ВВТ, АСУ		7,83	15
		4	Разработки эскизного проекта образца ВВТ, АСУ		4,46	9
		5	Корректировки конструкторской документации и доработки опытного образца ВВТ по результатам испытаний; сопровождения АСУ		4,46	9
		6	Разработки технического предложения образца ВВТ; формирования требований к АСУ, разработки концепции АСУ, разработки технического задания АСУ		2,75	5

<sup>1</sup> К этому классу РНД относятся и опытно-технологические работы, которые в Военной академии выполняются редко.

1	2	3	4	5	6	7
3.	Научные издания	1	Монография (международный уровень)	печ. л.	8,20	15
		2	Монография (республиканский уровень)		4,95	10
		3	Энциклопедия		2,81	5
		4	Энциклопедический словарь		1,62	3
		5	Справочник (научный)		2,81	5
4.	Отчеты о НИР		Отчет о НИР — фундаментальной 1-й категории:	шт.		
		1	высокого качества;		11,93	20
		2	хорошего качества;		7,5	15
		3	удовлетворительного качества		4,33	9
			Отчет о НИР — фундаментальной 2-й категории:			
		4	высокого качества;		7,5	15
		5	хорошего качества;		4,33	9
		6	удовлетворительного качества		2,51	5
			Отчет о НИР — фундаментальной 3-й категории:			
		7	высокого качества;		4,33	9
		8	хорошего качества;		2,51	5
		9	удовлетворительного качества		1,61	3
			Отчет о НИР — прикладной 1-й категории:			
		10	высокого качества;		7,95	15
		11	хорошего качества;		5,0	10
		12	удовлетворительного качества		2,89	6
			Отчет о НИР — прикладной 2-й категории:			
		13	высокого качества;		5,0	10
14	хорошего качества;	2,89	6			
15	удовлетворительного качества	1,67	3			
	Отчет о НИР — прикладной 3-й категории:					
16	высокого качества;	2,89	6			
17	хорошего качества;	1,67	3			
18	удовлетворительного качества	1,07	2			

1	2	3	4	5	6	7
5.	Учебники (учебные пособия)	1	Учебник международного уровня	печ. л.	5,44	10
		2	Учебник республиканского уровня		3,24	6
		3	Учебник ведомственного (академического) уровня		1,88	4
		4	Учебное пособие		1,12	2
6.	Подготовка научных кадров высшей квалификации (участие, подтвержденное протоколом)	1	Консультирование докторской диссертации	шт.	5,44	10
		2	Научное руководство кандидатской диссертацией		5,44	10
		3	Работа в экспертной совете ВАК		1,63	3
		4	Руководство работой советов по защите диссертаций (председатель, его заместитель, секретарь)		1,1	2
		5	Работа в составе специализированных советов по защите диссертаций их членов		0,72	1,5
		6	Работа в составе военно-научного и научно-технического советов по рассмотрению диссертаций		0,49	1
7.	Статьи		Научная статья:	шт.		
		1	в международном издании;		4,40	9
		2	в республиканском (межведомственном) издании;		2,65	5
	3	в ведомственном (академическом) издании	0,53	1		
8.	Доклады		Доклад (сообщение) на научном форуме (научной или научно-практической конференции, симпозиуме, семинаре и т.п.), опубликованный в сборнике:	шт		
		1	международном;		4,40	9
		2	республиканском (межведомственном);		2,65	5
	3	ведомственном (академическом)	0,53	1		



1	2	3	4	5	6	7
9.	Отчеты на учениях, военных играх	1 2 3	Отчет об исследовании на учении, военной игре: стратегического уровня; оперативного уровня; тактического уровня	шт.	2,08 1,15 0,63	4 2 1
10.	Отзывы и заключения на диссертации	1 2 3 4 5 6	Отзыв официального оппонента на докторскую диссертацию Отзыв официального оппонента на кандидатскую диссертацию Отзыв оппонировавшей организации на докторскую диссертацию Отзыв оппонировавшей организации на кандидатскую диссертацию Отзыв на автореферат докторской диссертации Отзыв на автореферат кандидатской диссертации	шт.	2,08 1,16 2,08 1,16 0,68 0,43	4 2 4 2 1,5 1
11.	Проекты руководящих документов	1	Проекты уставов, наставлений, положений, руководств, инструкций и других руководящих документов (участие в разработке вне НИР (НИОКР), подтвержденное распоряжениями и отчетными документами)	шт.	2,08	4
12.	Научное и методическое руководство НИР (НИОКР)	1 2 3	Руководство НИР (НИОКР) 1-й категории Руководство НИР (НИОКР) 2-й категории Руководство НИР (НИОКР) 3-й категории	шт.	2,08 1,15 0,63	4 2 1
13.	Рецензии и заключения	1	Рецензии и заключения экспертов, связанные с проведением научных исследований	печ. л.	1,22	2
14.	Обзоры, указатели	1 2 3	Тематический обзор по материалам зарубежной печати Тематический обзор по материалам отечественной печати Тематический указатель литературы	шт.	1,22 0,67 0,37	2,5 1,5 1

1	2	3	4	5	6	7
15.	Научные работы слушателей, курсантов (с начислением баллов руководителям	1	Научная работа: лауреат международного конкурса;	шт.	3,88	7
		2	представленная на международный конкурс;		2,55	5
		3	лауреат республиканского конкурса;		1,81	4
		4	представленная на республиканский конкурс;		1,18	2,5
		5	лауреат ведомственного (академического) конкурса;		0,63	1,5
		6	представленная на ведомственный (академический) конкурс		0,30	0,5
16.	Акты и протоколы	1	Акты и протоколы заседаний ученых (научно-технических) советов организаций, приемочных и экспертных комиссий (подтверждающие участие в их работе)	шт.	0,52	1

Еще проще определение величин приоритетов новых видов результатов внутри класса. Для этого формируется выборка из 5–9 элементов класса с включением в нее нескольких «старых» элементов с уже известными величинами приоритетов. Затем определяются величины приоритетов элементов выборки, рассчитывается коэффициент согласования с последующим пересчетом величин приоритетов новых элементов в согласованные.

3. Упрощенные методики, основанные только на использовании оценочных баллов таблиц, подобных табл. 11.7, в определенной мере нивелируют важность результатов. Ведь оценочные баллы, как было уже отмечено, определены для форм представления РНД среднего уровня, т.е. таких форм, которые содержат средние по значимости РНД (новые знания, экспериментальные или лабораторные объекты и процессы, созданные на основе новых знаний и др.). Некоторую «гибкость» оценке может придать предоставление права учеными или научно-техническими советами экспертам или подготовленным специалистам организационно-плановых отделов научных организаций или научно-исследовательских отделов вузов корректировать «табличные» баллы в

большую или меньшую сторону. Эксперты считают, что такая корректура может составлять до 20%.

В случае получения более значимых результатов, по сравнению со средними результатами и возможностью 20%-й корректировки средних баллов, необходимо осуществлять индивидуальную их оценку. Такая оценка должна проводиться группами экспертов путем формирования специальных выборок результатов с включением в них видов с уже известными величинами приоритетов и балльными оценками и оцениваемые результаты. Порядок проведения подобных процедур неоднократно излагался в данном параграфе. Результаты с повышенной важностью и качеством сравнительно немного, что не приведет к чрезмерной загрузке экспертов.

4. Наука непрерывно и динамично развивается. Поэтому трудно предусмотреть появление новых видов и учесть все возможные формы представления РНД. Кроме того, в различных учреждениях могут иметься и появляться свои специфические их виды и формы. Данное обстоятельство обуславливает необходимость учета в упрощенной методике оценки РНД особых результатов, которые могут отсутствовать в таблицах, подобных табл. 11.7. Процедура оценки таких результатов осуществляется индивидуально в уже известном порядке.

С учетом этих замечаний и данных табл. 11.7 был предложен вариант упрощенной методики оценки РНД подразделений, приведенный в приложении 3. На время написания данной книги проводилась разработка подобной, но более совершенной методики для военного ведомства.

Приведенная упрощенная методика может представлять интерес для учреждений и подразделений, занимающихся научной деятельностью, так как каждое из них обязано заниматься оценкой РНД. Но большую значимость может иметь методика формирования таблиц, подобных табл. 11.7 и разрабатываемых с учетом особенностей каждого научного учреждения или подразделения. Центральным моментом в разработке таких таблиц является нестрогое ранжирование альтернатив с определением величин приоритетов и балльных оценок на основе их попарных сравнений с использованием шкалы «1–9» МАИ. При этом число альтернатив, в принципе, не ограничено, так как изменение величин приоритетов при любых комбинациях альтернатив или изменении их числа всегда можно компенсировать проведением итеративного процесса и учетом согласующего коэффициента, т.е. всегда можно получить согласованные балльные оценки альтернатив.

Следовательно, указанный в восьмой главе такой недостаток МАИ как возможность работы с ограниченным количеством аль-

тернатив справедлив только для одного цикла его использования. Организация итеративного процесса, изложенного в данной главе, снимает какие-либо ограничения на количество оцениваемых альтернатив. А определение числовых показателей качества позволяет осуществить качественное ранжирование альтернатив, а также выделение лучших альтернатив. Кроме того, изменение величин приоритетов альтернатив при увеличении или уменьшении их числа всегда можно учесть проведением процедур согласования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Специалисты считают, что современный системный анализ представляет собой прикладную научную дисциплину [5]. Эта дисциплина исследует закономерности анализа сложных проблемных ситуаций, разрабатывает принципы, рекомендации и методы обоснования решений по слабоструктуризованным и неструктуризованным проблемам. Диапазон исследуемых проблемных ситуаций весьма широк и включает проблемы как стратегического, так и более низких уровней. Конечно, наиболее сложными и приоритетными для системно-аналитических процедур являются неструктуризованные проблемы социальных или социотехнических систем.

Этапы системного анализа и порядок их выполнения зависят от особенностей конкретной исследуемой проблемы. В литературе приводятся много различных их вариантов. Рассмотрение их в одной работе невозможно, да и нерационально, так как системный анализ является общенаучной прикладной отраслью знаний. Поэтому рассмотреть даже основные его варианты применительно ко всем возможным областям применения не под силу даже большому числу специалистов. Да и интерес каждый из них представляет только для узкого круга специалистов. Вместе с тем, во всех вариантах имеются наиболее важные этапы, которые необходимо присутствуют в каждом из них. В этой связи в данной работе были выделены и рассмотрены именно самые основные этапы системно-аналитических процедур и общая последовательность их выполнения. Такой подход видится рациональным, так как он не отрицает множественность вариантов анализа, признает возможность увеличения этапов и корректуры порядка их выполнения применительно к особенностям конкретной проблемной ситуации.

В системном анализе сочетаются как неформальные, так и формальные этапы. Их выполнение не просто и требует применения логических, эвристических и логико-эвристических подходов и методов. Поэтому системно-аналитические процедуры включают большое число разнообразных необходимых методических средств. Среди них важное место занимают логико-методологические положения квалиметрии и теории эффективности сложных систем. Особое место в системном анализе занимают положения и методы теории принятия решений при многих критериях —

без них анализ проводиться не может. В системно-аналитических процедурах сочетаются наука и искусство, философия и математика, эвристика и алгоритмы, творчество и ремесло [5].

Основными фигурами в процедурах системного анализа являются ЛПР и системный аналитик. При этом ЛПР является ведущей фигурой. Он заинтересован в разрешении проблемной ситуации, инициирует проведение анализа, располагает полной информацией по проблеме, участвует в обосновании решения, его мнение учитывается в процессе обоснования, лично принимает окончательное решение, реализует его. Системный аналитик является главной фигурой в системно-аналитической процедуре. Он организует, проводит и осуществляет ее методологическое обеспечение, участвует во внедрении, реализации результатов. Системный аналитик должен использовать при обосновании решения весь имеющийся арсенал методологических средств. Если он не знает некоторые из них, то обязан привлечь необходимых специалистов, выступая в роли организатора системных исследований.

Взаимоотношения ЛПР и системного аналитика при совместной работе непросты. Они должны быть уважительными, даже дружескими, строиться на основе рекомендаций, выработанных на основе многолетнего опыта. Необходимым условием эффективности процедур системного анализа является постоянное общение системного аналитика с ЛПР или его компетентным представителем, а также допуск аналитика ко всей информации об анализируемой проблемной ситуации.

Один полный цикл системного анализа завершается принятием первичного решения ЛПР. Этот цикл, как и все последующие, представляет собой итеративный процесс в формате всех или части этапов анализа. Эффективность решения по слабоструктуризованным и неструктуризованным проблемам проверяется только при практическом его использовании. Данное обстоятельство обуславливает необходимость проведения нескольких циклов системно-аналитических процедур по уточнению первичного и последующих решений до устранения проблемной ситуации. Такое уточнение проводится на основе изучения откликов проблемосодержащей системы на реализацию решений. Следовательно, можно считать, что заключительным, сложным и весьма важным этапом системного анализа является участие системного аналитика во внедрении, реализации его результатов. В некоторых работах этот этап трактуется как реализация, внедрение результатов анализа [5]. По нашему мнению, здесь уместна более мягкая формулировка, так как согласно теории управления принимает и реализует решение ЛПР, а системно-аналитические процедуры играют важную роль

основного средства поддержки принятия решений по слабоструктурированным и неструктурированным проблемам. И системный аналитик участвует в реализации решений при ликвидации проблем не непосредственно, а именно неоднократным повторением циклов анализа по уточнению первичного и последующих решений до устранения проблемы.

Исходным пунктом системного анализа является выявление ЛПР сложной проблемы, осознание им того факта, что ему вряд ли удастся принять одному рациональное решение, которое позволит устранить возникшую проблему с приемлемыми издержками, и необходимо обращение за помощью к системному аналитику. При этом ЛПР понимает сложность системно-аналитической процедуры, необходимость его личного участия в ней в тесном контакте с аналитиком и выдачи всей информации о проблеме, а также предстоящие немалые финансовые затраты. Но, самое главное, лицо, принимающее решение, должно четко понимать то, что можно получить с помощью системного анализа и чего нельзя.

В этом плане важно знать, что системно-аналитические процедуры позволяют, прежде всего, избежать ошибочных, «провальных» решений по сложным проблемам. Причем, даже в том случае, если выполнены не все этапы системного анализа. Ведь нередко ЛПР отказывается от услуг системного аналитика после выполнения начальных неформальных этапов анализа, когда он считает, что накоплена информация о проблеме, достаточная для принятия им рационального решения. В одной из работ ее автор отметил, что ему, несмотря на значительный опыт, не удалось зафиксировать ни одной выполненной в полном объеме системно-аналитической процедуры [6]. В плане иллюстрации последствий «провальных» решений показателен печальный опыт бывшего Союза, когда в последние десятилетия его существования, несмотря на имеющиеся наработки по системному анализу, высшее руководство страны игнорировало это средство обоснования решений и принимало волевые решения. Еще в 1995 г. отмечалось, что уже к тому времени ущерб от развала Союза превысил на постсоветском пространстве более чем в три раза ущерб, который был причинен СССР за годы второй мировой войны.

Но это составляет тот минимум, который могут обеспечить даже не до конца выполненные системные исследования. Еще 15 лет назад считалось, что «с практической стороны системный анализ есть теория и практика улучшающего вмешательства в проблемные ситуации...» [5, с. 349]. Это означало, что уже тогда правильно выполненная системно-аналитическая процедура позволяла обосновать решения, которые обеспечивали устранение

проблемы с издержками, которые оправдывали затраты на проведение анализа. Системный анализ относится к популярным и быстро развивающимся прикладным отраслям знаний. Нет сомнений в том, что в течение 15 лет он совершенствовался по всем направлениям. Развивалась и теория принятия решений. В этой связи можно констатировать, что современные системно-аналитические процедуры обеспечивают более высокую степень «улучшающего вмешательства в проблемные ситуации».

Более того, в настоящее время имеется возможность выделить и охарактеризовать десять основных этапов системного анализа, имеющих общенаучную и обще практическую значимость, а также рассмотреть основные варианты анализа, что и осуществлено в данной работе. 1–6-й этапы охарактеризованы во 2–4-й главах, 7–9-й — в 5–9-й, а 10-й — участие системного аналитика в реализации решения — в 10-й главе. Все это позволяет вести речь о существовании общенаучного системно-аналитического образца разветвления прикладных исследований.

Законодательством предусмотрена оценка результатов научной деятельности, для чего необходимы соответствующие методики. В книге на основе использования МАИ и методов теории принятия решений разработаны варианты полномасштабной методики, реализация которых затруднительна из-за сложности и больших требуемых затрат, и методический подход к разработке упрощенной методики результатов, которую можно применять на практике. Этот методический подход целесообразно использовать для разработки, например, ведомственных упрощенных методик оценки результатов научной деятельности с участием представителей всех основных отраслей науки.

В заключение следует отметить, что данная книга посвящена изложению основных положений системного анализа и методов теории принятия решений при многих критериях, в которых основную роль играют люди. При принятии решений также используются СППР на основе искусственного интеллекта и его ответвления — экспертных систем. Они специфичны и требуют отдельного рассмотрения. В книге не освещались и такой подход к обоснованию решений, как подход нечетких, расплывчатых множеств и нечеткой логики. Этот подход также требует специального рассмотрения, очень сложен в реализации, что обусловило разработку специальных шкал типа шкалы «1–9» МАИ для перевода нечетких суждений экспертов в числовые величины.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Философский энциклопедический словарь / Редкол.: С.С. Аверинцев, Э.А. Араб-Оглы, Л.Ф. Ильичев и др. 2-е изд. М.: Сов. энциклопедия, 1989.

2. Коломоец, Ф. Г. Основы методологии научных исследований. Рекомендации по проведению диссертационных исследований. Мн: Харвест, 2004.

3. Волкова, В.Н., Денисов, А.А. Основы теории систем и системного анализа: учеб. для вузов по направлению «Системный анализ и управление» / 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Изд-во СП: ГТУ, 2001.

4. Юдин, Э.Г. Методология науки. Системность. Деятельность. М.: Эдиториал УРСС, 1997.

5. Перегудов, Ф.И., Тарасенко, Ф.П. Введение в системный анализ: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1989.

6. Спицнадель, В.Н. Основы системного анализа: учеб. пособие. СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000.

7. Анфилатов, В.С., Емельянов, А.А., Кукушкин, А.А. Системный анализ в управлении: учеб. пособие / Под ред. А.А. Емельянова, М.: Финансы и статистика, 2002.

8. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) [и др.]. М.: Машиностроение, 1986. Т. 1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.И. Рембезы.

9. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) [и др.]. М.: Машиностроение, 1988. Т. 3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова.

10. Саати, Т., Кернс, К. Аналитическое планирование. М.: Радио и связь, 1991.

11. Демидов, Б.А. Теория и методы военно-научных исследований вооружения и военной техники: учебник. Харьков: ВИРТА ПВО, 1990.

12. Садовский, В.Н. Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ. М.: Наука, 1974.

13. Большой энциклопедический словарь: философия, религия, эзотеризм, политэкономия / Гл. науч. ред. и сост. С.Ю. Солодовников. Мн.: МФЦП, 2002.

14. Синергетике — 30 лет: интервью с проф. Г. Хакеном // Вопросы философии. 2000. № 3. С. 53–61.

15. Князева, Е.Н., Курдюмов, С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М.: Наука, 1994.

16. *Василькова, В.В.* Порядок и хаос в развитии социальных систем: (Синергетика и теория социальной организации). Сер.: «Мир культуры, истории и философии». СПб.: Издательство «Лань», 1999.
17. *Бранский, В.П.* Теоретические основания социальной синергетики // Вопросы философии. 2000. № 4. С. 112–129.
18. *Уемов, А.И.* Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978.
19. *Новикова, И.В.* Системная методология в экономических исследованиях: учеб. пособие. Мн.: Экономич. технологии, 1996.
20. *Вендлин, А.Г.* Процесс принятия решения. Таллин: «Валгус», 1973.
21. *Ожегов, С.И., Шведова, Н.Ю.* Толковый словарь русского языка / Рос. академия наук. Ин-т рус. яз. им. В.В. Виноградова. 4-е изд., доп. М.: ООО «ИТИ Технологии», 2003.
22. *Вентцель, Е.С.* Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд., стереотип — М.: Наука, 1988.
23. *Райфа, Х.* Анализ решений (введение в проблему выбора в условиях неопределенности). М.: Наука, 1977.
24. *Ларичев, О.И.* Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах: учебник. М.: Логос, 2000.
25. *Ларичев, О.И.* Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах: учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Логос, 2002.
26. *Квейд, Э.* Анализ сложных систем: пер. с англ. / Под ред. И.И. Ануреева, И.М. Верещагина. М.: Сов. радио, 1969.
27. *Таха, Х.* Введение в исследование операций: в 2 кн. пер. с англ. М.: Мир, 1985.
28. *Таха, Х.* Введение в исследование операций: в 2 кн. пер. с англ. М.: Мир, 1985.
29. *Таха, Х.А.* Введение в исследование операций. М.: Издат. дом «Вильямс», 2001.
30. *Подinovский, В.В., Ногин, В.Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982.
31. *Воробьев, С.Н.* Методы обоснования решений в условиях определенности / МО СССР. М., 1987.
32. *Клир, Д.* Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990.
33. Новейший словарь иностранных слов и выражений. М.: ООО «Издательство АСТ»; Мн.: Харвест, 2002.
34. Научно-технический прогресс: словарь / Сост.: В.Г. Горохов, В.Ф. Халипов. М.: Политиздат, 1987.
35. Население Республики Беларусь: стат. сб. / Минстат Республики Беларусь. Мн., 2003.
36. Статистический ежегодник Республики Беларусь. Мн., 2003.
37. *Кохановский, В.П.* Философия и методология науки: учеб. для вузов. Ростов н/Д., Феникс, 1999.
38. *Поспелов, Г.С., Ириков, В.А.* Программно-целевое планирование. М.: Сов. радио, 1976.

39. *Шикин, Е.В., Чхартишвили, А.Г.* Математические методы и модели в управлении: учеб. пособие. 2-е изд., испр. М.: Дело, 2002.

40. *Трухачев, Р.И.* Модели принятия решений в условиях неопределенности. М.: Наука, 1981.

41. *Макаров, И.М., Виноградская, Т.М., Рубчинский, А.А.* Теория выбора и принятия решений: учеб. пособие. М.: Наука, 1982.

42. *Гличев, А.В., [и др.]* Прикладные вопросы квалиметрии. М.: Изд-во стандартов, 1983.

43. *Гличев, А.В.* Основы управления качеством продукции. М.: Изд-во стандартов, 1988.

44. *Ильин, В.В.* Критерии научности знания. М.: Высш. шк. 1989.

45. *Черноморов, Г.А.* Теория принятия решений: учеб. пособие. Новочеркасск, 2002.

46. *Чистов, В.В., Волков, А.А.* Теория принятия решений: учеб. пособие. М.: МГУП, 2002.

47. *Кини, Р.Л., Райфа, Х.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981.

48. *Штоиер, Р.* Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1992.

49. О научной деятельности, Закон Республики Беларусь от 21 октября 1996 г. (с изм. и доп. от 31 декабря 1997 г.) // Ведомости Верховного Совета Республики Беларусь. 1996. № 34. Ст. 608; Ведомости Национального собрания Республики Беларусь. 1998. № 1. Ст. 4.

50. Положение об оценке результатов научной деятельности: [утв. постановлением от 21.07.97 г. № 914] // Собрание декретов, указов Президента и постановлений Правительства Республики Беларусь. 1997. № 19.

51. Примерные перечни результатов научной деятельности, показателей и признаков критериев новизны, значимости для науки и практики, объективности, доказательности и точности этих результатов: [утв. приказом от 09.09.97 г. № 84/187] // Организация научно-технической деятельности в Республике Беларусь: сб. нормат.-правовых актов. Вып. 3. Мн., 1998.

52. Положение о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий: [утв. постановлением от 16.05.97 г. № 499] // Собрание декретов, указов Президента и постановлений Правительства Республики Беларусь. 1997. № 14.

53. Об утверждении Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь: Указ Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 г. № 560 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2004. № 180. 1/6013.

**ХАРАКТЕРИСТИКА И ПОКАЗАТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ  
НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Таблица 1.1*

**Характеристика и показатели новизны результатов  
фундаментальных исследований в области естественных  
и технических наук**

Характеристика результатов	Показатель новизны
Работа описательно-регистрационного характера. Обобщена известная научная информация или описаны отдельные элементарные факты (объекты, свойства, отношения), данные опытов, результаты наблюдений или измерений	1
Сделан элементарный анализ связей и взаимозависимостей между фактами. Дана классификация фактов. Выдвинуты предложения частного характера, не дающие преимуществ по сравнению с существующими методами, способами, устройствами, веществами	2
Впервые раскрыта связь между известными фактами или известные положения распространены на новые объекты, в результате чего найдены более эффективные решения. Выдвинуты предложения по частичным прогрессивным изменениям существующих методов, способов, устройств, веществ	3
Дан глубокий анализ многоаспектных связей и взаимозависимостей с их объяснением и научной систематизацией. Значительно расширена область научного знания, введены новые понятия, по-новому или впервые объяснены известные факты и на этой основе получены закономерности, раскрыта структура содержания. Произведено коренное усовершенствование существующих методов, способов, устройств, веществ	4
Сделано открытие, получена принципиально новая научная информация, открыты принципиально новые факты и закономерности. Разработана новая теория или раскрыт и сформулирован закон. Созданы принципиально новые методы, способы, устройства, вещества	5

### Характеристика и показатели новизны результатов фундаментальных исследований в области общественных наук

Характеристика результатов	Показатель новизны
Работа описательно-регистрационного характера, подготовленная на основе обобщения отечественной научной литературы и передового опыта. Сформулированы выводы и предложения по второстепенным проблемам	1
Работа описательно-аналитического характера. Обобщена отечественная и зарубежная литература, описан передовой опыт, сделан элементарный анализ отечественной научной (статистической, социально-экономической) информации. Сформулированы выводы и предложения по относительно значимым проблемам	2
Работа теоретического характера. Обобщена отечественная и зарубежная литература, проведен системный анализ отечественной и зарубежной научной (статистической, социально-экономической) информации. Впервые проанализированы взаимосвязи и взаимозависимости между известными фактами, в результате чего найдены наиболее эффективные решения. Выдвинуты важные предложения по прогрессивному изменению существующего положения	3
Работа теоретического характера. На основе системного анализа научной отечественной и зарубежной литературы, отечественной и зарубежной научной (статистической, социально-экономической) информации, опыта зарубежных стран и существующего положения в отечественной практике значительно расширена область научного знания, введены новые понятия, по-новому или впервые объяснены известные факты и закономерности. Выдвинуты всесторонне обоснованные предложения по прогрессивному изменению существующей практики и решению важнейших проблем на ближайшие годы	4
Разработана принципиально новая теория. Сделан глубокий научный анализ известных и новых фактов, отечественной и зарубежной научной (статистической, социально-экономической) информации. В исследовании открыты принципиально новые факты и закономерности, использован системный подход, математические методы моделирования и анализа. С учетом зарубежного и отечественного опыта выдвинуты всесторонне обоснованные и доказательные предложения по коренному пересмотру и прогрессивному изменению существующей практики на ближайшие годы и отдаленную перспективу	5

**Характеристика и показатели новизны результатов прикладных исследований в области естественных и технических наук**

Характеристика результатов	Показатель новизны
На основе усовершенствования действующего изделия (процесса) создан объект новой техники (способ, технологический процесс), по основным техническим параметрам отвечающий лучшим отечественным аналогам	1
На основе усовершенствования действующего изделия (процесса) создан объект новой техники (способ, технологический процесс) по всем техническим параметрам соответствующий лучшим отечественным аналогам	2
На основе использования принципов работы действующих и других подобных изделий (процесса) создан объект новой техники (способ, технологический процесс), по основным техническим параметрам соответствующий мировому уровню, а по остальным – лучшим отечественным аналогам	3
На основе результатов исследования создан объект новой техники (способ, технологический процесс), по большинству технических параметров соответствующий мировому уровню или превосходящий его	4
На основе нового фундаментального открытия или изобретения создан уникальный объект новой техники (способ, технологический процесс), по всем техническим параметрам превосходящий мировой уровень	5

Таблица 1.4

**Характеристика и показатели новизны результатов прикладных исследований в области общественных наук**

Характеристика результатов	Показатель новизны
1	2
Работа носит описательный характер. Предложения имеют определенное значение в пропаганде и распространении передового опыта	1
В работе выдвинуты новые предложения частного характера, дающие некоторые преимущества по сравнению с существующими методами	2
Работа представляет собой систематизированное изложение новых методических предложений на основе изучения новой отечественной и зарубежной литературы и передового опыта	3

1	2
Работа представляет модифицированный нормативный (методический) документ, подготовленный на основе обобщения отечественной и зарубежной практики и систематизации имеющихся аналогичных документов	4
Работа представляет новый нормативный (методический) документ, подготовленный на основе теоретических исследований, обобщения отечественной и зарубежной практики и научной литературы	5

Таблица 1.5

**Характеристика и показатели новизны результатов исследований, включенных в инновационный процесс**

Характеристика результатов	Показатель новизны
Конструкция (опытный образец), технологический процесс лишь по основным техническим параметрам отвечает лучшим отечественным образцам	1
Конструкция (опытный образец), технологический процесс по всем техническим параметрам соответствует лучшим отечественным образцам	2
Конструкция (опытный образец), технологический процесс по основным техническим параметрам соответствует мировому уровню (лучшим мировым аналогам), а по остальным — лучшим отечественным образцам	3
Конструкция (опытный образец), технологический процесс по техническим параметрам соответствует мировому уровню (лучшим мировым аналогам), а по некоторым — превосходит его	4
Конструкция (опытный образец), технологический процесс по всем техническим параметрам превышает мировой уровень (лучшие мировые аналоги). Продукция, созданная на уровне изобретения, полезной модели, промышленного образца и т.п., обладающая патентной защищенностью	5

**Характеристика и показатели значимости для науки и практики результатов фундаментальных исследований в области естественных, технических и общественных наук**

Характеристика результатов	Показатель значимости
Результат имеет важное значение в распространении научных знаний и передового опыта	1
Результат окажет положительное влияние на развитие отдельного научного направления. Будет способствовать развитию экономики, решению социальных, экологических, культурных и других проблем в отдельном регионе страны	2
Результат имеет важное значение для развития конкретной области знаний или отдельного научного направления. Окажет положительное влияние на развитие экономики, решение социальных, экологических и других проблем в отдельной отрасли народного хозяйства	3
Результат имеет важное значение для развития нескольких областей знаний или научных направлений. Окажет большое влияние на развитие экономики, решение социальных, экологических и других проблем в нескольких отраслях народного хозяйства	4
Результат имеет важное значение для прогресса мировой науки, способствует пропорциональному развитию отечественной науки. Будет оказывать большое влияние на развитие экономики страны, решение социальных, экологических и других проблем	5

Таблица 1.7

**Характеристика и показатели значимости для науки и практики результатов прикладных исследований в области естественных и технических наук**

Характеристика результатов	Показатель значимости
1	2
Конструкция экспериментального образца изделия (технологии) предназначена для использования только на конкретном предприятии (без тиражирования на другие предприятия)	1



1	2
Конструкция экспериментального образца изделия (технологии) может найти применение на нескольких предприятиях, использующих однотипное оборудование	2
Конструкция экспериментального образца изделия (технологии) может найти применение на всех предприятиях отрасли	3
Конструкция экспериментального образца изделия (технологии) применима при производстве продукции в нескольких отраслях промышленности	4
Конструкция экспериментального образца изделия (технологии) имеет межотраслевое значение, может найти применение в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и в других отраслях народного хозяйства	5

Таблица 1.8

**Характеристика и показатели значимости для науки и практики результатов прикладных исследований в области общественных наук**

Характеристика результатов	Показатель значимости
Нормативный (методический) документ предназначен для использования на отдельном предприятии (в организации, учреждении)	1
Нормативный (методический) документ может быть использован на нескольких однотипных предприятиях (в организациях, учреждениях)	2
Нормативный (методический) документ или комплекс предложений могут быть распространены и использованы в масштабе района, города или области	3
Нормативный (методический) документ или комплекс предложений могут быть распространены и использованы в масштабе отрасли	4
Нормативный (методический) документ или комплекс предложений могут быть распространены и использованы в масштабе страны	5

**Характеристика и показатели значимости для науки и практики результатов исследований, включенных в инновационный процесс**

***На основе конкурентоспособности и освоения рынков***

Характеристика результатов	Показатель значимости
Реализация отдельных изделий на местном рынке	1
Производство небольших партий и реализация готовой продукции на местном рынке и в странах СНГ	2
Производство отдельных серий. Освоение местного рынка, расширение рынка в странах СНГ, выход на рынки отдельных стран дальнего зарубежья	3
Массовое производство. Удовлетворение спроса на местном рынке, освоение рынка стран СНГ и выход с отдельными партиями на рынки дальнего зарубежья	4
Массовое производство. Удовлетворение спроса на местном рынке и рынках стран СНГ. Освоение рынков стран Восточной Европы. Выход на рынки стран Западной Европы и других стран	5

***На основе экономической эффективности и окупаемости***

Характеристика результатов	Показатель значимости
Получены лишь незначительные технические преимущества. Экономического эффекта нет	1
Получены ощутимые технические преимущества. Экономический эффект определить невозможно	2
Получен экономический эффект. Срок окупаемости от 4 до 5 лет	3
Получен экономический эффект. Срок окупаемости от 3 до 4 лет	4
Получен экономический эффект. Срок окупаемости до 3 лет	5

**Характеристика и показатели объективности результатов научных исследований (фундаментальных, прикладных и включенных в инновационный процесс)**

**На основе учета квалификации и компетенции разработчиков и экспертов**

Характеристика разработчиков результатов и экспертов	Показатель объективности
Результат получен без участия научных работников высшей квалификации и не прошел экспертизы	1
Результат получен без участия научных работников высшей квалификации. Рассмотрен и оценен секцией Ученого (научно-технического) совета	2
Результат получен без участия научных работников высшей квалификации. Рассмотрен и оценен на Ученом (научно-техническом) совете, прошел необходимую экспертизу	3
Результат получен с участием научных работников высшей квалификации. Рассмотрен и оценен на Ученом (научно-техническом) совете, прошел государственную экспертизу с участием отечественных экспертов по профилю результата и из смежных научных направлений	4
Результат получен с участием научных работников высшей квалификации, рассмотрен и оценен на Ученом (научно-техническом) совете, прошел государственную экспертизу с участием отечественных и международных экспертов по профилю результата и из смежных научных направлений	5

**На основе форм признания результатов**

Характеристика форм признания результатов	Показатель объективности
Результат одобрен секцией Ученого (научно-технического) совета	1
Результат одобрен Ученым (научно-техническим) советом	2
Результат опубликован в виде научной статьи. Прошел апробацию на отечественном научном форуме (семинаре, конференции)	3
Результат прошел апробацию на международном научном форуме. Опубликован научный доклад, книга	4
На результат получен патент, продана лицензия, имеется акт о внедрении. Опубликована научная монография	5

**Характеристика и показатели доказательности результатов  
фундаментальных исследований в области естественных  
и технических наук**

Характеристика способов получения результатов	Показатель доказательности
Результат получен на основе эмпирических наблюдений или теоретических построений	1
Результат получен на основе экспериментальных или теоретических исследований и математического моделирования	2
Результат получен на основе экспериментальных или теоретических исследований, лабораторных испытаний с использованием математических методов обработки данных	3
Результат получен на основе глубоких теоретических исследований и проведения масштабного научного эксперимента	4
Результат получен на основе глубоких теоретических исследований и проведения масштабных научных экспериментов, получил подтверждение и признание научного сообщества	5

Таблица 1.12

**Характеристика и показатели доказательности результатов  
фундаментальных исследований в области общественных наук**

Характеристика способов получения результатов	Показатель доказательности
1	2
Результат получен на основе изучения и обобщения научной отечественной литературы	1
Результат получен на основе теоретических исследований, изучения и обобщения научной отечественной и зарубежной литературы	2
Результат получен на основе теоретических исследований, изучения научной отечественной и зарубежной литературы, зарубежного опыта и зарубежной статистической информации	3
Результат получен на основе теоретических исследований, изучения зарубежного и отечественного опыта и научной литературы, анализа научной (статистической, социально-экономической) информации с использованием математических методов обработки данных	4

1	2
Результат получен на основе теоретических исследований, изучения и обобщения зарубежного и отечественного опыта и научной литературы, анализа научной (статистической, социально-экономической) информации с использованием математических методов обработки данных и подтвержден на практике	5

Таблица 1.13

**Характеристика и показатели доказательности для науки и практики результатов прикладных исследований в области естественных и технических наук**

Характеристика способов получения результатов	Показатель доказательности
Результат получен на основе теоретических исследований и испытаний созданной экспериментальной модели изделия, материала, технологии	1
Результат получен на основе теоретических исследований и испытаний разработанного макета изделия, материала, технологии	2
Результат получен на основе теоретических исследований, разработки и испытания экспериментального образца изделия, материала, технологии	3
Результат получен на основе теоретических исследований, создания и испытания опытного образца изделия, материала, технологии, изготовленного по рабочей документации	4
Результат получен на основе теоретических исследований, создания, изготовления опытных образцов продукции (опытная партия)	5

Таблица 1.14

**Характеристика и показатели доказательности для науки и практики результатов прикладных исследований в области общественных наук**

Характеристика способов получения результатов	Показатель доказательности
1	2
Результат получен на основе изучения отечественного опыта	1
Результат получен на основе теоретических исследований и обобщения отечественного опыта	2

1	2
Результат получен на основе теоретических исследований, обобщения отечественного и зарубежного опыта	3
Результат получен на основе теоретических исследований, обобщения отечественного и зарубежного опыта, анализа научной (статистической, социально-экономической) информации с использованием математических методов	4
Результат получен на основе теоретических исследований, обобщения отечественного и зарубежного опыта, использования математических методов обработки данных и экспериментальной проверки в отечественных условиях	5

Таблица 1.15

**Характеристика и показатели точности результатов при создании действующих моделей и образцов новой техники и технологий**

Характеристика результатов	Показатель точности
Созданный экспериментальный образец не соответствует техническому заданию и требует переработки	1
Созданный экспериментальный образец по основным параметрам соответствует техническому заданию, но требует доработки	2
Созданный экспериментальный образец соответствует техническому заданию и государственному стандарту, но требует устранения мелких недоработок	3
Созданный экспериментальный образец соответствует техническому заданию и государственному стандарту и не требует доработки	4
Созданный экспериментальный образец соответствует техническому заданию и государственному и международному стандарту	5

Таблица 1.16

**Характеристика и показатели точности для науки и практики результатов исследований, включенных в инновационный процесс**

Характеристика результатов	Показатель точности
1	2
Созданная продукция по всем показателям не соответствует бизнес-плану	1

*Окончание табл. 1.16*

1	2
Созданная продукция не соответствует бизнес-плану по большинству основных показателей	2
Созданная продукция не соответствует бизнес-плану по нескольким второстепенным показателям	3
Созданная продукция по всем показателям соответствует бизнес-плану	4
Созданная продукция по всем показателям превосходит их уровень, заложенный в бизнес-плане	5

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАУЧНОЙ РАБОТЫ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

## Проект

### 1. Порядок оценки научно-исследовательских и военно-научных работ подразделений академии

Эффективность научно-исследовательских работ (НИР) и военно-научных работ (ВНР) подразделений (факультетов, кафедр, центров и научно-исследовательских лабораторий) оценивается по показателю реализации результатов НИР и ВНР  $Q$ .

Вычисление показателя сводится к суммированию числа реализаций с соответствующими весовыми коэффициентами по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^{N_p} n_i p_i, \quad (2.1)$$

где  $N_p$  — число видов реализаций;  $n_i$  — число реализаций  $i$ -го вида;  $p_i$  — весовой коэффициент реализации  $i$ -го вида.

Сопоставление результатов работы подразделений проводится по удельному показателю эффективности  $q$ , определяемому по формуле

$$q = \frac{Q}{N_{\text{сп}}}, \quad (2.2)$$

где  $N_{\text{сп}}$  — приведенное число сотрудников подразделения, рассчитываемое по формуле

$$N_{\text{сп}} = N_0 + 1,5 N_1 + 1,25 N_2, \quad (2.3)$$

где  $N_0$  — списочное количество преподавателей без ученой степени, адъюнктов, инженеров и научных сотрудников подразделений;  $N_1$  — списочное количество преподавателей и научных сотрудников с ученой степенью доктора наук;  $N_2$  — списочное количество преподавателей и научных сотрудников с ученой степенью кандидата наук.

Весовые коэффициенты реализаций приведены в табл. 2.1.



## 2. Весовые коэффициенты реализаций

Таблица 2.1

### Виды реализаций, единицы измерения и значения весовых коэффициентов реализаций

№ п/п	Вид реализации	Единица измерения	Значения
1	2	3	4
1	Результаты исследований реализованы в НИР по обоснованию ТТХ, принципов построения в технических предложениях по созданию вооружения (с подтверждением заказчика), по обоснованию боевых возможностей, построению боевых порядков, в предложениях по применению соединений и частей	Число фактов реализации	10
2	Результаты исследований реализованы в проектах вооружения: а) эскизных б) технических	То же	10 15
3	Результаты НИР реализованы в уставных и нормативных документах: а) государственного значения: принципиально новых взамен устаревших б) ведомственных принципиально новых взамен устаревших	-//-	10 5 7 3
4	Результаты НИР реализованы в алгоритмах и программах: а) включенных в библиотеку программ МО РФ б) используемых в ведомственных организациях	-//-	5 3
5	Представлено: а) научных отчетов о НИР б) другие отчетные материалы	шт.	5 3
6	Разработано и изготовлено в подразделении по результатам НИР: а) экспериментальных макетов (выполняющих самостоятельные законченные функции) б) опытных образцов (выполняющих самостоятельные законченные функции)	шт.	10 15

1	2	3	4
7	Проведено испытаний разработанных образцов: а) лабораторных б) натуральных в) полигонных	шт.	5 10 15
8	Участие в учениях (комиссиях, экспертных группах), связанных с НИР	шт.	5
9	Опубликовано научных статей: а) в международных изданиях б) в республиканских изданиях в) межведомственных изданиях г) во внутренних изданиях	шт.	5 3 2 1
10	Издано монографий	печ.л.	5
11	Защищено диссертаций: а) докторских б) кандидатских	шт.	100 50
12	Присвоено ученое звание: а) профессора б) доцента	шт.	30 10
13	Подготовлено: а) докторантов (защитивших докторскую диссертацию) б) адъюнктов (защитивших кандидатскую диссертацию)	шт.	20 10
14	Оппонирование диссертаций: а) докторских б) кандидатских	шт.	4 2
15	Дано отзывов на авторефераты диссертаций: а) докторских б) кандидатских	шт.	3 1
16	Подготовлено тематических обзоров по материалам зарубежной печати	шт.	4
17	Проведено научно-технических семинаров*	шт.	
18	Сделано научных докладов на конференциях и семинарах: а) международных б) республиканских в) межведомственных г) на ведомственных и внутренних	шт.	5 3 2 1

1	2	3	4
19	Представлено научных работ на соискание премий и конкурсы: а) международные б) республиканские в) ведомственные	шт.	5 3 2
20	Издано учебников: а) для академии б) для внешних организаций	печ.л.	2 3
21	Издано учебных пособий	печ.л.	1
22	Реализовано хоздоговорных денежных средств (по состоянию на момент оценки реализации в академии)	5 мин. зарплат	0,02
23	Подготовлено тематических указателей литературы	шт.	3

\* Весовой коэффициент рассчитывается по формуле

$$p = \frac{N_y + N_0 + N_1}{10}, \quad (2.4)$$

где  $N_y$ ,  $N_0$ ,  $N_1$  – количество соответственно участников, организаций и докладов.

## УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ И ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

1. Научная деятельность организаций и подразделений оценивается приведенным суммарным баллом за все их результаты научной деятельности, полученные за рассматриваемый период времени. Приведенный суммарный балл  $Q_{\Sigma}$  рассчитывается по формуле

$$Q_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{ридс}}} q_{\text{ридс}i} + \sum_{j=1}^{N_{\text{ридо}}} q_{\text{ридо}j}}{N_{\text{сп}}}, \quad (3.1)$$

где  $N_{\text{ридс}}$  и  $N_{\text{ридо}}$  – число РНД, подвергающихся оценке соответственно средними баллами и индивидуальной оценке в связи с их особенностью (повышенной важностью или отсутствием в перечне табл. 11.7), проводимой специально назначенными (постоянно действующими) группами экспертов;  $q_{\text{ридс}i}$  и  $q_{\text{ридо}j}$  – баллы за РНД, соответственно  $i$ -й, оцениваемый средним баллом, и  $j$ -й особый, оцениваемый индивидуально группой экспертов;  $N_{\text{сп}}$  – приведенное количество сотрудников подразделения, которые обязаны заниматься научной деятельностью; определяется по выражению (2.3) в прил. 2.

2. Числовой балл  $q_{\text{ридс}i}$  за каждый  $i$ -й РНД, подвергающийся усредненной оценке, определяется подготовленным специалистом организационно-планового или научно-исследовательского отдела по табл. 11.7. По решению ученого или научно-технического совета числовые баллы за результаты этим специалистом или назначенными экспертами могут увеличиваться или уменьшаться на 20%. При этом учитываются, при их наличии, общие оценки результатов, определенные ученым советом на основе обобщения всех оценок, представленных экспертами. Специалист организационно-планового или научно-исследовательского отдела осуществляет предварительный отбор особых результатов (с высокой важностью или отсутствующих в табл. 11.7) для их индивидуальной оценки группой экспертов. Подразделения и временные творческие коллективы имеют право, при несогласии с уровнем оценки РНД специалистом организационно-планового или научно-исследовательского отдела, подавать заявления в группу экспертов для его рассмотрения как особого.

3. Числовой балл  $q_{\text{ридо}j}$  за каждый  $j$ -й особый РНД определяется группой экспертов с использованием МАИ. Этой же группой предварительно устанавливается, по представлению эксперта, специалиста организационно-планового или научно-исследовательского отдела или подразделений, особенность РНД и необходимость его индивидуальной оценки с проведением экспертизы

4. Оценки подразделениям или отдельным сотрудникам за коллективные РНД определяются делением общей оценки за результат пропорционально объему работы, выполненной каждым из них. Если объем не указан, то общая оценка делится на количество соавторов.

Оценки подразделений или отдельных сотрудников за разработку отчетов о НИР, участие в опытно-конструкторских и опытно-технологических работах и других РНД могут уточняться научными руководителями совместно с ответственными исполнителями работ с учетом значимости и качества разработок. Спорные вопросы, возникающие при этом, решаются группой экспертов.

5. РНД научных и учебных подразделений оцениваются отдельно.

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>Глава 1. Общие положения системного подхода . . . . .</b>	<b>8</b>
1.1. Характеристика теоретических основ системного подхода . . . . .	8
1.2. Основные принципы и аспекты системного подхода . . . . .	23
<b>Глава 2. Основные положения системного анализа . . . . .</b>	<b>29</b>
2.1. Основные направления в системном анализе и его этапы. . . . .	29
2.2. Выделение, изучение, определение типа и формулирование проблемы. . . . .	43
2.3. Определение главной цели . . . . .	58
2.4. Основные этапы подготовки и обоснования решений по хорошо структуризованным проблемам. . . . .	71
2.5. Иерархическое представление проблемных ситуаций. . . . .	74
2.5.1. Характеристика иерархического представления проблемных ситуаций в виде «деревьев» целей . . . . .	75
2.5.2. Характеристика иерархического представления проблемных ситуаций в виде уровней их компонентов . . . . .	77
2.6. Выбор и формирование критериев. . . . .	82
2.7. Рекомендации по разработке альтернатив . . . . .	86
<b>Глава 3. Основные положения квалиметрии . . . . .</b>	<b>93</b>
3.1. Предмет и основные исходные положения квалиметрии . . . . .	93
3.2. Основные положения по измерению свойств объектов и от- ношений между ними. . . . .	100
3.3. Показатели свойств и качества объектов исследования . . . . .	104
3.4. Основные проблемы и задачи исследования качества объектов . . . . .	109
3.4.1. Характеристика задачи оценки качества объектов — прямой задачи квалиметрии . . . . .	110
3.4.2. Характеристика задач оценки объектов по качеству . . . . .	112
3.4.3. Характеристика обратных задач квалиметрии . . . . .	115
<b>Глава 4. Основные положения теории эффективности сложных систем . . . . .</b>	<b>117</b>
4.1. Предмет и основные исходные положения теории эффективности . . . . .	117
4.2. Характеристика факторов, влияющих на эффективность операций сложных систем . . . . .	123
4.3. Основные методологические уровни и принципы исследования эффективности сложных систем . . . . .	128
4.3.1. Основные методологические уровни исследования сложных систем. . . . .	128
4.3.2. Основные принципы системных исследования эффек- тивности сложных систем. . . . .	131
4.4. Основные виды проблем и задач, которые решаются с ис- пользованием методов теории эффективности. . . . .	134

4.4.1. Характеристика задачи оценки эффективности операций сложных систем . . . . .	134
4.4.2. Характеристика задач выбора пригодных, лучших или адаптивных стратегий проведения операций. . . . .	136
4.4.3. Характеристика задач оценки сложных систем по эффективности операций . . . . .	139
4.4.4. Характеристика задач синтеза сложных систем с пригодной или лучшей эффективностью операций . . . . .	140
<b>Глава 5. Предмет и основные исходные положения теории принятия решений. Классификация задач принятия решений. . . . .</b>	<b>142</b>
5.1. Предмет и основные исходные положения теории принятия решений . . . . .	142
5.2. Виды задач принятия решений . . . . .	145
5.3. Классификация и общая характеристика задач принятия решений	147
<b>Глава 6. Методологические аспекты выбора решений по одному критерию в условиях определенности, стохастической, природной и поведенческой неопределенности. . . . .</b>	<b>158</b>
6.1. Методологические аспекты выбора решений по одному критерию в условиях определенности . . . . .	158
6.2. Методологические аспекты выбора решений по одному критерию в условиях стохастической, природной и поведенческой неопределенности	161
<b>Глава 7. Задачи принятия решений при многих критериях в условиях определенности . . . . .</b>	<b>168</b>
7.1. Особенности задач принятия решений при многих критериях в условиях определенности . . . . .	168
7.2. Методы выделения лучших альтернатив по критерию Эджворта–Парето. Эффективные альтернативы и их свойства . . . . .	171
7.3. Способы выражения и описания предпочтений лиц, принимающих решения. . . . .	174
7.3.1. Общая характеристика способов выражения и описания предпочтений ЛПР . . . . .	174
7.3.2. Способы определения относительной важности и значений коэффициентов важности частных показателей . . . . .	177
7.3.3. Методологические положения по сортировке и ранжированию альтернатив . . . . .	180
7.4. Характеристика эвристических методов решения задач выбора при многих критериях в условиях определенности . . . . .	183
7.4.1. Метод обобщенного показателя . . . . .	183
7.4.2. Метод главного показателя . . . . .	185
7.4.3. Многошаговые эвристические методы . . . . .	187
7.5. Аксиоматические одношаговые процедуры выделения лучших альтернатив по информации о важности частных показателей	189
7.6. Характеристика аксиоматических многошаговых методов — человеко-машинных процедур . . . . .	190
<b>Глава 8. Задачи принятия решений при многих критериях в условиях неопределенности. . . . .</b>	<b>195</b>
8.1. Особенности задач принятия решений при многих критериях в условиях неопределенности . . . . .	195

8.2. Основные подходы и методы выбора решений при многих критериях в условиях неопределенности . . . . .	196
<b>Глава 9. Характеристика и примеры применения методов подхода аналитической иерархии . . . . .</b>	<b>203</b>
9.1. Сущность и основные этапы метода анализа иерархий . . . . .	203
9.2. Декомпозиция решаемой проблемы в иерархию. . . . .	205
9.3. Заполнение матриц попарных сравнений критериев и альтернатив	206
9.4. Расчет величин локальных приоритетов критериев и альтернатив и проверка согласованности матриц . . . . .	209
9.5. Синтез глобальных приоритетов и определение ЛПР лучшего (эффективного) варианта решения проблемы . . . . .	213
9.6. Особенности мультипликативного МАИ. Достоинства и области применения МАИ . . . . .	216
9.7. Пример использования МАИ для решения проблемы объединения Войск ПВО и ВВС . . . . .	220
9.8. Пример использования МАИ для выбора варианта научно-исследовательского учреждения. . . . .	226
9.9. Применение МАИ для решения некоторых частных неструктуризованных проблем. . . . .	236
9.9.1. Проблема выбора места работы . . . . .	236
9.9.2. Проблема выбора спутника жизни. . . . .	238
<b>Глава 10. Отклонение от рациональности при принятии решений людьми. Особенности практического применения системного анализа</b>	<b>241</b>
10.1. Принятие индивидуальных решений . . . . .	241
10.2. Принятие решений в организациях . . . . .	243
10.3. Особенности практического применения системного анализа	246
<b>Глава 11. Использование метода анализа иерархий и теории принятия решений при разработке методики оценки результатов научной деятельности . . . . .</b>	<b>257</b>
11.1. Общие положения о научной деятельности и оценке ее результатов . . . . .	257
11.2. Анализ методического подхода к оценке отдельных результатов научной деятельности . . . . .	262
11.3. Анализ методики оценки результатов научной деятельности, используемой в одном из вузов. . . . .	266
11.4. Обоснование методики оценки РНД научных организаций, вузов и структурных подразделений. . . . .	270
11.5. Обоснование упрощенной методики оценки результатов научной деятельности научных организаций, вузов и структурных подразделений	283
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>293</b>
<b>Список литературы. . . . .</b>	<b>297</b>
<b>Приложения . . . . .</b>	<b>300</b>
<i>Приложение 1.</i> Характеристика и показатели результатов научной деятельности . . . . .	300
<i>Приложение 2.</i> Методика оценки научной работы подразделений Военной академии Республики Беларусь . . . . .	312
<i>Приложение 3.</i> Упрощенная методика оценки результатов научной деятельности организаций и подразделений. . . . .	316

*Научное издание*

**Коломоец Федор Григорьевич**

## **ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

**Пособие для исследователей, управленцев  
и студентов вузов**

Главный редактор *Е.К. Кукушкин*

Редактор *Е.Л. Мельникова*

Корректор *М.А. Сипливая*

Технический редактор *В.В. Кузьмина*

Компьютерная верстка *А.В. Снытко*

Подписано в печать 26.04.05. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Гарнитура Петербург. Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,83.

Уч.-изд. л. 18,43. Тираж 300 экз. Заказ **19**

Издательство «Тесей» ООО. ЛИ № 02330/0056993 от 01.04.04. 220002,

Минск, ул. В. Хоружей, 31а, комн. 510, тел. 237-72-08, 284-88-63,

e-mail: [tesey@belsonet.net](mailto:tesey@belsonet.net).

Отпечатано на ризографе РИВШ. 220001, г. Минск, ул. Московская, 15.