



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. Н. Волкова, А. А. Денисов

ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

**УЧЕБНИК
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА**

2-е издание, переработанное и дополненное

Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по экономическим направлениям и специальностям

Рекомендовано ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 010502 (351400) «Прикладная информатика»

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**



2012

Москва ■ Юрайт ■ 2014

УДК 303.732:[338+658.01](075.8)
ББК 32.965я73
В67

Авторы:

Волкова Виолетта Николаевна — профессор, доктор экономических наук, профессор кафедры системного анализа и управления Института информационных технологий и управления Национального исследовательского университета «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», заслуженный работник высшей школы РФ;

Денисов Анатолий Алексеевич — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ.

Рецензенты:

Соколов Д. В. — доктор экономических наук, профессор;

Фирсов А. Н. — кандидат физико-математических наук, доцент.

Волкова, В. Н.

В67 Теория систем и системный анализ : учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2014. — 616 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.

ISBN 978-5-9916-4213-2

В учебнике даются основные понятия теории систем и системного анализа. Определено их место среди других научных направлений. Показана принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся систем с активными элементами. Рассмотрены классификации систем, закономерности их функционирования и развития, методы моделирования и анализа. Приведены примеры разработки и применения методик и моделей системного анализа при проектировании и организации функционирования систем управления предприятиями и организациями, при управлении проектами технических комплексов и моделировании других процессов принятия решения в сложных проблемных ситуациях.

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования четвертого поколения.

Для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки, связанным с проектированием сложных технических комплексов, разработкой информационных систем, принятием решений при управлении техническими и социально-экономическими объектами и процессами.

УДК 303.732:[338+658.01](075.8)
ББК 32.965я73

© Волкова В. Н., Денисов А. А., 2010
© Волкова В. Н., Денисов А. А., 2013,
с изменениями
© ООО «Издательство Юрайт», 2014

ISBN 978-5-9916-4213-2

Оглавление

Введение.....	7
---------------	---

Глава 1. Системы и закономерности их функционирования и развития	10
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------

1.1. Из истории теории систем и системного анализа	11
1.2. Понятие о системе.....	23
1.3. Понятия, характеризующие строение, функционирование и развитие систем	33
1.4. Виды и формы представления структур	46
1.5. Классификация систем	61
1.6. Закономерности систем.....	74
1.7. Закономерности целеобразования.....	92

<i>Темы для самоконтроля</i>	<i>97</i>
------------------------------------	-----------

Глава 2. Методы и модели теории систем и системного анализа	99
------------------------------------------------------------------------------	-----------

2.1. Проблема принятия решения	100
2.2. Подходы к анализу и проектированию систем ...	106
2.3. Классификация методов моделирования систем	109
2.4. Методы формализованного представления систем	117
2.5. Методы активизации использования интуиции и опыта специалистов.....	176
2.6. Выбор методов моделирования систем	203
2.7. Понятие о методике системного анализа	218

<i>Темы для самоконтроля</i>	<i>228</i>
------------------------------------	------------

Глава 3. Информационный подход к анализу систем	231
3.1. Основные понятия информационного подхода	232
3.2. Дискретные информационные модели	237
3.3. Диалектика части и целого	259
3.4. Особенности моделей диалектической логики	281
<i>Темы для самоконтроля</i>	<i>300</i>
Глава 4. Постепенная формализация моделей принятия решений	301
4.1. Понятие о постепенной формализации моделей принятия решений	302
4.2. Постепенная формализация в задачах моделирования процессов прохождения информации в системах управления	315
4.3. Модели постепенной формализации принятия решений при организации технологических процессов производства	330
4.4. Модели постепенной формализации принятия плановых решений на основе морфологического подхода	332
<i>Темы для самоконтроля</i>	<i>345</i>
Глава 5. Цели: формулирование, структуризация, анализ	347
5.1. Проблемы формулирования цели при управлении развивающимися системами	348
5.2. Первые методики системного анализа целей ...	360
5.3. Методики, базирующиеся на философских концепциях системы	371
5.4. Разработка методик структуризации целей	392
5.5. Анализ целей и функций в сложных многоуровневых системах	404
5.6. Автоматизация процесса формирования структур целей и функций	408
<i>Темы для самоконтроля</i>	<i>416</i>

Глава 6. Методы и модели организации сложных экспертиз	417
6.1. Метод усложненной экспертной процедуры, предложенный в методике ПАТТЕРН	418
6.2. Метод анализа иерархий Т. Саати	422
6.3. Метод решающих матриц Г. С. Поспелова	426
6.4. Методы организации сложных экспертиз, базирующиеся на использовании информационного подхода	436
6.5. Примеры моделей организации сложных экспертиз	456
<i>Темы для самоконтроля</i>	<i>486</i>
Глава 7. Информационное моделирование экономических систем	487
7.1. Обобщенная структура товарно-денежного обращения	487
7.2. Развернутая структура товарно-денежного обращения (функциональная страта)	506
7.3. Мидиэкономическое моделирование	518
7.4. Диффузные (полевые) макроэкономические модели	529
<i>Темы для самоконтроля</i>	<i>537</i>
Глава 8. Применение методов системного анализа при организации производства и управлении предприятиями	539
8.1. Методика проектирования и развития системы управления предприятием (организацией)	540
8.2. Анализ факторов, влияющих на создание и функционирование предприятия (организации)	544
8.3. Анализ целей и функций системы управления предприятием (организацией)	547

8.4. Разработка (корректировка) организационной структуры предприятия (организации)	554
8.5. Система нормативно-методического обеспечения управления предприятием (организацией)	582
8.6. Информационные модели производственных систем	585
<i>Темы для самоконтроля</i>	595
Заключение	596
Практические задания	598
Предметный указатель	600
Именной указатель	607
Список литературы	610

Введение

Современная информатика представляет собой науку об информационных элементах, информационных процессах и информационных системах¹. Поэтому одной из фундаментальных дисциплин согласно ФГОС ВПО третьего поколения по направлению «Прикладная информатика» является «Теория систем и системный анализ», которая знакомит студентов со специальной терминологией и закономерностями строения, функционирования и развития систем, с принципами и методиками анализа целей и разработки систем.

Поскольку информационная система должна включать не просто базу данных, текстовые документы или иные хранилища информации, но и методы и модели использования информации при принятии решений, в учебнике представлен широкий спектр разнородных проблем — от анализа экономических проблем до разработки методик и моделей управления предприятиями и организациями, разработки информационных систем, обеспечивающих специалистов и работников аппарата управления необходимой информацией.

Краткая история возникновения и развития системных представлений приводится в гл. 1. В этой же главе излагаются основные понятия и закономерности теории систем. Классификации методов моделирования систем и краткая их характеристика приводятся в гл. 2. В отдельные главы вынесены специальные методы системного анализа — информационный подход (гл. 3) и метод постепенной формализации моделей принятия решений (гл. 4), развиваемые авторами учебника. В гл. 5 рассматриваются теоретические проблемы целеобразования и структуризации целей как особо актуальные в постоянно изменяющихся условиях функционирования предприятий и организаций.

Для иллюстрации использования основных положений теории систем, ее закономерностей и понятий, на которых базируются методики и модели прикладных системных исследований, необходимы

¹ Прикладная информатика : справочник / под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Юрьева. — М. : Финансы и статистика ; ИНФРА-М, 2008.

примеры, которые составляют основу работ по системному анализу. Поэтому в структуре данного учебника содержатся и прикладные главы, в которых отражаются возможности и полезность практического применения теории систем и системного анализа. В гл. 6 настоящей книги рассматриваются методы и методики организации сложных экспертиз и их применение при оценке нововведений, проведении маркетинговых исследований для предприятий разного рода — от посреднических фирм до научно-промышленных комплексов, проектирования изделий сложной техники и оборудования, организации технологических процессов производства и управления организациями. В гл. 7 в том числе рассматриваются применение информационного подхода для выбора конфигурации и управления проектами сложных технических комплексов, использование морфологического моделирования при календарном планировании в условиях позаказной системы производства и т.п. В гл. 8 характеризуются проблемы проектирования (адаптации, развития) систем управления предприятиями и организациями. Причем рассмотрен весь комплекс вопросов — от анализа факторов, влияющих на создание и функционирование предприятия, до формирования его организационной структуры и системы нормативно-методического обеспечения управления деятельностью предприятия.

В результате изучения данной дисциплины студент должен:

знать

- методы, модели и методики теории систем и системного анализа;
- закономерности построения, функционирования, развития систем и закономерности целеобразования;
- методы теории множеств, математической логики, алгебры высказываний, теории графов, теории автоматов и теории алгоритмов;
- элементы математической лингвистики и теории формальных языков;

уметь

- выбирать методы моделирования систем;
- структурировать и анализировать цели и функции систем управления;

- проводить системный анализ прикладной области;
- применять и разрабатывать автоматизированные диалоговые процедуры для формирования и анализа структур целей и функций систем организационного управления предприятиями, для реализации методов организации сложных экспертиз;

владеть

- навыками работы с инструментами системного анализа;
- методами и методиками системного анализа и навыками их применения в реальных условиях, возникающих при управлении предприятиями и организациями, исследовании информационных процессов и разработке информационных систем.

Авторы выражают благодарность рецензентам учебника — доктору экономических наук, профессору кафедры «Экономическая кибернетика и экономико-математические методы» Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов Дмитрию Викторовичу Соколову и кандидату физико-математических наук, профессору кафедры «Системный анализ и управление» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Андрею Николаевичу Фирсову, а также студентам и аспирантам, подготовившим подразделы, примеры и программные процедуры, иллюстрирующие возможности методов и методик системного анализа, о чем в тексте сделаны соответствующие ссылки.

ГЛАВА 1

Системы и закономерности их функционирования и развития

На протяжении относительно короткой истории становления теории систем и системного анализа представления о системах и закономерностях их построения, функционирования и развития неоднократно уточнялись и переосмысливались. Краткая история развития теории систем и системного анализа приведена в параграфе 1.1.

Для того чтобы правильно трактовать и использовать основные понятия теории систем, в параграфе 1.2 приводится эволюция понятия системы, а в параграфе 1.3 — представление о понятиях, с помощью которых описывают строение и функционирование систем. Учитывая особую значимость в исследовании систем структурных представлений, виды структур и их особенности рассмотрены в отдельном параграфе 1.4.

В параграфе 1.5 охарактеризованы варианты классификаций систем и классификация по степени организованности, используемая авторами.

О закономерностях систем можно говорить в разных смыслах: исследовать статистические, логические, экономические закономерности; изучать закономерности конкретных процессов в системах различной физической природы, которые существенно зависят от особенностей объектов, представляемых в виде систем. Но есть и закономерности иного характера — общесистемные, характеризующие систему как целое и практически не зависящие от субстрата, качественного наполнения системы. А. Холл называл их макроскопическими свойствами системы [89]. Обзор таких закономерностей приведен в параграфе 1.6. В параграфе 1.7 рассматриваются основные закономерности целеобразования.

После изучения данной главы студент должен:

знать

- место теории систем среди других научных направлений;
- направления применения теории систем;
- определения системы и их применение при разработке методик системного анализа;
- виды классификации систем;

-
- классификацию по сложности К. Боулдинга;
 - классификацию по степени организованности и ее применение;
 - закономерности строения, функционирования и развития систем;
 - закономерности взаимодействия части и целого — целостность (эмерджентность), аддитивность, интегративность;
 - закономерности прогрессирующей систематизации, прогрессирующей факторизации;
 - закономерности иерархической упорядочности — коммуникативность, иерархичность;
 - закономерности осуществимости — эквифинальность, закон «необходимого разнообразия» У. Р. Эшби;
 - закономерность потенциальной осуществимости Б. С. Флейшмана;
 - закономерности развития — историчность, самоорганизация;
 - закономерности целеобразования;
 - зависимость цели от стадии познания объекта, времени, внешних и внутренних факторов;
 - возможность и необходимость сведения задачи формулирования глобальной цели к задаче ее структуризации;
 - закономерности построения структур целей;

уметь

- выбирать определение системы для конкретного объекта и задачи принятия решения;
- применять понятия, характеризующие строение и функционирование систем при отображении конкретных технических и социально-экономических объектов;
- выбирать класс системы для отображения технического и социально-экономического объекта;
- использовать знание о закономерностях систем для разработки концепции построения и развития исследуемого социально-экономического объекта или технического комплекса;

владеть

- навыками применения закономерности систем и закономерности целеобразования при отображении социально-экономического объекта или технического комплекса.
-

1.1. Из истории теории систем и системного анализа

К XX в. сложились две формы культуры — естественнонаучная и гуманитарная, различающиеся методами познания. Произошло разделение на людей, мыслящих предпочтительно формально или, напротив, — гуманитарно. Эти формы мышления связывали с различными полушариями головного мозга.

Гуманитарное познание формирует образ, целостность, а *формальное* мышление обеспечивает отображение элементов и законов их взаимодействия. Гуманитарное знание связано с определением смысла, назначения, целесообразности (телеология), цели. Вершиной гуманитарного знания традиционно считается *философия*. Формальное мышление традиционно базируется на математике.

В европейской культуре более предпочтительными и развитыми оказались формальные методы. В то же время в XIX—XX вв. возник ряд проблем, труднообъяснимых с помощью формальных методов. Для их решения механическая концепция, превратившаяся в физико-математическую, оказалась недостаточной. Напротив, развивающаяся диалектическая концепция объясняла объективность противоречий и даже необходимость их для существования и развития сложного мира, но не имела формализованного аппарата, которому отдает предпочтение европейская наука.

Возникли попытки распространения на гуманитарную сферу познания физико-математических методов — *физикализм*. С помощью физикализма были объяснены некоторые проблемы. Однако к середине XX в. стал очевидным кризис концепции физикализма, что привело к возникновению интегральных концепций, объединяющих возможности гуманитарного и формального мышления.

Формальные методы не позволяют выявить содержание исследуемых процессов, понять их целостность, хотя и могут помочь активизировать интуицию и опыт специалистов, гуманитарное мышление для выявления содержания, отобразить законы взаимодействия компонентов, полученные эмпирически.

Анализ содержания, исследование процессов постановки задач позволили обратить внимание на особую роль человека: человек является носителем целостного восприятия, сохранения целостности при расчленении проблемы, распределении работ, носителем системы ценностей, критериев принятия решения (появился термин «лицо, принимающее решение» — ЛПР).

Развитие научного знания и его приложений к практической деятельности в XVIII—XIX вв. привело к возрастающей дифференциации научных и прикладных направлений. Возникло много *специальных дисциплин*. Специальные дисциплины для исследования

конкретных прикладных проблем часто используют сходные формальные методы, но настолько преломляют их с учетом потребностей конкретных приложений, что специалисты, работающие в разных прикладных областях, перестают понимать друг друга.

Французский математик **Жак Адамар**¹, исследуя процесс изобретательства, обнаружил, что для повышения эффективности процесса творчества необходимы обе формы мышления и переключение с одной формы на другую.

После осознания необходимости интеграции гуманитарного и формального мышления между философией и математикой появился спектр дисциплин, которые сочетают средства гуманитарного познания, позволяющего отобразить содержание познаваемого объекта, и формальных методов, отражающих изученные законы строения и функционирования объектов и помогающих таким образом в развитии познания в обозримые сроки.

В XX в. стало резко увеличиваться число комплексных проектов и проблем, требующих для их выполнения или решения участия специалистов различных областей знаний. Появилась потребность в специалистах «широкого профиля», обладающих знаниями не только в своей сфере деятельности, но и в смежных областях и умеющих эти знания обобщать, использовать аналогии, формировать комплексные модели. Понятие системы, ранее употреблявшееся в обыденном смысле, превратилось в специальную общенаучную категорию, начали появляться обобщающие научные направления, которые исторически иногда возникали параллельно на разной прикладной или теоретической основе и носили различные наименования.

Для выработки единых обобщающих терминов, единого языка общения представителей разных наук **Н. Винер** (*N. Wiener*) в 1934 г. собрал в Принстоне на семинар ученых многих специальностей (нейрофизиологов, инженеров-связистов, конструкторов вычислительной техники и т.д.). Для названия новой науки об общих принципах управления в живых организмах и машинах был принят термин «кибернетика». А существующее словосочетание «кибернетический подход» может рассматриваться как первая интегральная концепция естествознания, объединяющая гуманитарное и формальное знания. Однако в последующем в связи с неод-

¹ Адамар, Ж. Исследование психологии процесса изобретения / Ж. Адамар. — М. : Советское радио, 1977.

нозначной трактовкой термина «кибернетика» и употреблением его во многих работах (особенно зарубежных), связанных с разработкой технических аналогов живых организмов, этот термин стал использоваться в более узком смысле — как одно из направлений теории систем, занимающееся процессами управления техническими объектами.

Для обобщения дисциплин, связанных с исследованием и проектированием сложных объектов различной природы, возникла *теория систем и системный подход*.

Основоположником теории систем считают биолога **Л. фон Берталанфи** (*L. von Bertalanfy*) [16, 17, 107], который в 30-е гг. XX в. ввел понятие *открытой системы* и сформулировал основные идеи и закономерности обобщающего направления, названного *теорией систем*.

Важный вклад в становление системных представлений внес в начале XIX в. (еще до Берталанфи) наш соотечественник **А. А. Богданов** (*Александр Александрович Малиновский*) [18]. Однако в силу исторических причин предложенная им всеобщая организационная наука — *тектология* (от греч. «тектон» — строитель) не нашла распространения и практического применения.

В нашей стране вначале теорию систем активно развивали философы **В. Г. Афанасьев, В. Н. Садовский, В. С. Тюттин, А. И. Уёмов** [15, 73, 82, 83] и др. Ими были разработаны концептуальные основы, терминологический аппарат, исследованы закономерности функционирования и развития сложных систем, поставлены другие проблемы, связанные с философскими и общенаучными основами системных исследований. Философами **В. Н. Садовским, А. И. Уёмовым, Ю. А. Урманцевым, В. С. Тюттиным** и др. был предложен ряд вариантов теории систем.

Однако философская терминология не всегда легко преломляется к практической деятельности. Поэтому потребности практики привели к тому, что в 60-е гг. XX в. при постановке и исследовании сложных проблем проектирования и управления довольно широкое распространение получили следующие термины:

системотехника, предложенный на основе терминологии переведенной книги **Г. Гуда и Р. Макола** «*System Engineering*» [31] в 1962 г. **Ф. Е. Темниковым** (основателем первой в стране кафедры, развивающей теорию систем, созданной в Московском энергетическом институте и названной «Системотехника») и широко используемый в последующем применительно к техническим системам;

системология, предложенный в 1965 г. **И. Б. Новиком**, независимо — **В. Т. Куликом** [45], использовавший **Б. С. Флейшманом** [85], **В. В. Дружининым**, **Д. С. Конторовым** [36] и другими.

Эти термины отражают прикладные направления теории систем.

Отечественными и зарубежными специалистами по математике, техническим наукам, экономике был предложен ряд вариантов теории систем.

Параллельно развивались направления, родственные теории систем: *исследование операций* (это направление, возникшее для исследования военных операций, применялось в различных сферах, в том числе и в экономике), *имитационное моделирование*, *ситуационное моделирование*, *синергетика*, *информационный подход*.

Для обобщения дисциплин, связанных с исследованием и проектированием сложных систем, используется термин «системные исследования», а иногда сохраняется термин «системный подход», который широко применялся в первые годы становления теории систем в двух смыслах — в смысле методологического направления философии, и в прикладном аспекте, как синоним понятия «комплексный подход».

Таким образом, между философией и математикой развивается спектр научных направлений с различной степенью сочетания гуманитарного и формального знаний. Междисциплинарные научные направления, возникшие между философией и узко специальными дисциплинами, можно расположить примерно так, как показано в табл. 1.1.

Наиболее конструктивным из направлений системных исследований в настоящее время считается *системный анализ*, который впервые появился в работах корпорации *RAND* в связи с задачами военного управления в 1960-е гг. [49], получил распространение в отечественной литературе после перевода книги **С. Оптнера** [65], широко использовался в работах Центрального экономико-математического института (работы **Ю. И. Черняка** [91—93] и других авторов), в работах томской школы системных исследований [9, 65] и других школ. В 80-е гг. XX в. дисциплина «системный анализ» была введена в учебные планы вузов нашей страны **Ф. И. Перегудовым** (заместителем министра высшего и среднего специального образования СССР того периода).

Таблица 1.1

Направления	Дата возникновения	Наиболее известные ученые и организации
Философия		
Тектология	1924 г.	А. А. Богданов (Малиновский)
Теория систем	1930-е гг.	Л. фон Берталанфи, К. Боулдинг, Дж. ван Гиг, М. Месарович, В. Г. Афанасьев, И. В. Блауберг, С. П. Никаноров, В. Н. Садовский, В. С. Тюттин, А. И. Уёмов, Ю. А. Урманцев, Э. Г. Юдин и др.
Системология	1950-е гг.	В. Т. Кулик, И. Б. Новик, Б. С. Флейшман, В. В. Дружинин, Д. С. Конторов, Б. Ф. Фомин и др.
Системный анализ	1960-е гг.	Корпорация <i>RAND</i> , Ч. Дэвис, С. Зигфорд
	Конец 1960-х — 1970-е гг.	Э. Квейд, В. Кинг, Д. Клиланд, С. Оптнер, С. Янг, Э. Янч; Ю. И. Черняк, Е. П. Голубков, Н. Н. Моисеев, Ф. И. Перегудов, В. Н. Сагатовский, Ф. П. Тарасенко, В. З. Ямпольский, С. А. Валуев, В. Н. Волкова, Ю. И. Дегтярев, А. А. Емельянов, В. Н. Козлов, Д. Н. Колесников и др.
Системотехника <i>System Engineering</i>	1962 г.	Г. Гуд, Р. Макол, Ф. Е. Темников, В. В. Дружинин, Д. С. Конторов, В. И. Николаев, А. Холл, Г. Честнат
Информационный подход	1973 г.	А. А. Денисов
Концептуальное мета-моделирование и проектирование	1990-е гг.	В. В. Нечаев, С. П. Никаноров
Ситуационное моделирование	1970-е гг.	Д. А. Поспелов, Ю. И. Клыков, Л. С. Загадская-Болотова
Синергетический подход	1960-е гг.	И. Пригожин, И. Стенгерс, Г. Хакен, А. П. Руденко и др.
Имитационное моделирование	1950-е гг.	Дж. Форрестер, А. В. Федотов (имитационное динамическое моделирование), А. А. Емельянов
Кибернетический подход	1934 г.	Н. Винер, У. Р. Эшби; А. И. Берг, Л. П. Крайзмер, Н. Е. Кобринский, Л. Т. Кузин, Е. З. Майминас, Л. А. Растргин и др.
Исследование операций	1960-е гг.	Р. Акофф, Е. С. Вентцель, Т. Саати, М. Сасиени, У. Черчмен, Ф. Эмери и др.
Специальные дисциплины		

Параллельно с направлениями, явно использовавшими термин «система», возникали междисциплинарные направления, которые развивались как самостоятельные, но фактически были ориентированы на системные исследования.

Наиболее известными из этих направлений системных исследований, возникших в 70-е гг. XX в., являются следующие:

- 1) ситуационное моделирование или ситуационное управление (см. работы Д. А. Поспелова [68], Ю. И. Клыкова, Л. С. Загадской-Болотовой [80, гл. 7]);

- 2) информационный подход к анализу систем (см. работы А. А. Денисова [1, 5, 6, 33—35]);
- 3) концептуальное мета моделирование, предложенное в 1980—1990-е гг. в работе В. В. Нечаева [59];
- 4) системология феноменального, развиваемая в работах Б. Ф. Фомина [42 и др.]).

В 80-х гг. XX в. возникла синергетика — научное направление, занимающееся исследованием общих закономерностей в процессах образования, устойчивости и разрушения упорядоченных временных и пространственных структур в сложных неравновесных системах различной физической природы (физических, химических, биологических, социальных).

Термин «синергетика» (от греч. *synergetikos* — совместный, согласованно действующий) ввел немецкий физик Г. Хакен при исследовании механизмов кооперативных процессов в лазере. Однако еще раньше, в 1960-е гг., И. Пригожин [69 и др.] пришел к идеям синергетики (хотя вначале этот термин не использовал) из анализа химических реакций. Теоретической основой его моделей является нелинейная термодинамика. Пригожин исследовал диссипативные процессы, в результате которых из неупорядоченных однородных состояний под воздействием флуктуаций могут происходить разрушения прежней и возникать качественно новые организации за счет диссипации (рассеяния) энергии, использованной системой, и получения из среды новой энергии.

Синергетика развивается как самостоятельное научное направление. Однако в последнее время наблюдается все большее сближение теории систем и синергетики. В частности, синергетические исследования используются в теории систем при пояснении закономерности самоорганизации (см. параграф 1.5). В перспективе, по-видимому, на основе объединения теории систем и синергетики возможно становление теории развивающихся систем как интегральной концепции современной теории познания.

Наиболее конструктивным из направлений системных исследований в настоящее время считается системный анализ (СА).

Термин «системный анализ» трактовался в публикациях неоднозначно. В работе Д. Клиланда и В. Кинга [44] СА определяется как «приложе-

ние системных концепций к функциям управления, связанным с планированием» или со стратегическим планированием и целевой стадией планирования, а Ю. И. Черняк [92] даже подчеркивает, что это методология исследования целенаправленных систем. В работе Э. Квейда СА употребляется как синоним термина «анализ систем» [43], а в работе С. Янга — как «системное управление организацией» [105]. Трактовался СА и как развитие методологии исследования операций, и как «формализованный здравый смысл» (см., например, работу Э. Квейда [43]).

В работах А. А. Денисова, Ю. И. Дегтярева, Н. Н. Моисеева СА ориентирован на использование математических методов [5, 32, 57 и др.]. Например, Н. Н. Моисеев связывает СА с принятием решений с помощью математических методов, но в то же время считает, что «системный анализ — это обширная синтетическая дисциплина, включающая в себя целый ряд разделов, носящих характер самостоятельных научных дисциплин» [57, с. 7].

В то же время уже в первых работах по СА подчеркивалось, что системный анализ — это способ мышления, способ решения проблемы (см. работу С. Оптнера[65]), упрощение сложного (см. работу Ю. И. Черняка[93]) и что математический аппарат вовсе не является неотъемлемой частью системного анализа (см. работу Д. Клиланда и В. Кинга [44, с. 124]).

На основе обобщения различных точек зрения в книгах авторов данного учебника [1, 2, 11, 12] дается следующее определение.

Системный анализ — это прикладное направление теории систем, которое:

- 5) применяется в тех случаях, когда задача (проблема) не может быть сразу представлена с помощью формальных, математических методов, т.е. имеет место большая начальная неопределенность проблемной ситуации;
- 6) уделяет внимание процессу постановки задачи и использует не только формальные методы, но и методы качественного анализа (в работах авторов учебника эти группы методов названы методами формализованного представления систем и методами активизации интуиции и опыта специалистов);

- 7) опирается на основные понятия теории систем и философские концепции, лежащие в основе исследования общесистемных закономерностей;
- 8) помогает организовать процесс коллективного принятия решения, объединяя специалистов различных областей знаний;
- 9) требует обязательной разработки методики системного анализа, определяющей последовательность этапов проведения анализа и методы их выполнения; методика объединяет методы из групп МАИС и МФПС и требует участия специалистов различных областей знаний;
- 10) исследует процессы целеобразования и занимается разработкой и применением средств работы с целями (в том числе — разработкой методик структуризации целей);
- 11) использует в качестве метода исследования расчленение большой неопределенности на более обозримые, лучше поддающиеся исследованию (что и соответствует понятию анализ), при сохранении целостного (системного) представления об объекте исследования и проблемной ситуации (благодаря понятиям цель и целеобразование).

Первые четыре особенности характерны для всех направлений системных исследований. В определение системного анализа, наряду с этими особенностями, включены еще три (5, 6, 7), уточняющие отличие СА от других системных направлений.

Независимо от того, применяется термин «системный анализ» только к формированию целей и функций системы, планированию развития организации или исследованию системы в целом, включая и цели, и структуру, работы этого направления отличаются от других направлений системных исследований тем, что в них предлагается методика проведения системного исследования, делается попытка предложить подходы к выполнению ее этапов в конкретных условиях. И второе важное отличие СА от других направлений системных исследований — работа с целями (их исследование, формулирование, структуризация или декомпозиция). В частности, в одном из определений Ю. И. Черныка [93] подчеркивается, что это методология исследования целенаправленных систем. При этом разработка методики и выбор методов

и приемов выполнения ее этапов базируется на использовании понятий и закономерностей теории систем.

В 70-е гг. XX в. возникла еще одна потребность в применении системного анализа. По мере развития научно-технического прогресса усложняются выпускаемые изделия и технологии производства промышленной продукции, расширяются ее номенклатура и ассортимент, увеличиваются частота сменяемости выпускаемых изделий и технологий, возрастает наукоемкость продукции, растут потребности населения. Все это приводит к усложнению взаимоотношений человека с природой, истощению ресурсов Земли, экологическим проблемам. В результате усложняются процессы управления экономикой, возникает необходимость управления самим научно-техническим прогрессом. На эту проблему впервые в нашей стране в 1960-е гг. обратил внимание академик В. М. Глушков.

В развитых капиталистических странах важность управления научно-техническим прогрессом и трудности, стоящие на пути решения этой проблемы, были осознаны примерно в те же годы.

В США, в частности, с 50-х гг. XX в. велись интенсивные научные исследования по этой проблеме в специальных, так называемых «думающих», бесприбыльных корпорациях (типа известной корпорации RAND). Результатом этих исследований стало создание первой методики системного анализа — ПАТТЕРН (характеризуемой в гл. 5), в основе которой лежат формирование и анализ «дерева целей». Были разработаны и другие методики, широко используемые в США правительственными органами и крупными промышленными корпорациями для прогнозирования и управления в условиях ускоряющихся темпов НТП.

В Советском Союзе для решения проблемы управления экономикой Институтом кибернетики Академии наук Украинской ССР под руководством В. М. Глушкова¹ вначале были проведены исследования, объясняющие сложность управления по мере развития цивилизации и возрастание роли информации в процессах управления.

Было обосновано, что сложность задач управления экономикой растет быстрее числа занятых в ней людей и что если продолжить управлять страной прежними методами на основе приоритета принципа контроля и переработки учетно-плановой информации, то в конце 1970-х гг.

¹ Глушков, В. М. Введение в АСУ / В. М. Глушков. — Киев. : Техніка, 1972. — С. 310.

в сфере управления только материальным производством нужно было бы занять чуть ли не все трудоспособное население страны.

Теоретические исследования о тенденциях роста численности управленческого персонала подтверждались и статистикой. Например, в США в начале XX в. на одного конторского работника приходилось 40 рабочих; в 1940 г. — 10; в 1958 г. — 6; а в 1965 — всего лишь 1 рабочий¹. Отечественная статистика аналогично констатировала рост численности управленческого персонала до 40% от общей численности работников предприятия. Аналогичная ситуация наблюдалась и с ростом численности управленческого персонала регионов.

Для решения проблемы управления социально-экономическими объектами и научно-техническим прогрессом в целом первоначально В. М. Глушковым было предложено использовать автоматизацию управления (и в середине 60-х гг. XX в. началась разработка автоматизированных систем управления — АСУ), но в дальнейшем стало ясно, что необходимы более радикальные изменения в управлении страной, учет закономерностей функционирования и развития сложных систем с активными элементами, разработка специальных методов их моделирования.

В 70-е гг. XX в. для повышения эффективности управления в СССР было решено пойти по пути совершенствования программно-целевого механизма управления.

Был подготовлен и принят ряд постановлений Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР и развивающих их документов², в которых определялся порядок разработки прогнозов, основных направлений развития, комплексных программ, перспективных планов на всех уровнях государственной структуры — от страны в целом до регионов, объединений и предприятий. Для управления НТП при Академии наук СССР, Совете Министров СССР и Госплане СССР были созданы специальные комиссии, которые разрабатывали прогнозы и основные направления экономического и социального развития страны.

При реализации положений этих документов и в работе названных комиссий использовались методы системного анализа, и в частности, — законо-

¹ Жимерин, Д. Г. Автоматизированные и автоматические системы управления / Д. Г. Жимерин, В. А. Мясников. — М. : Энергия, 1979. — С. 591.

² Совершенствование хозяйственного механизма : сб. документов. — М. : Правда, 1982. — С. 251.

мерности целеобразования и методики структуризации целей, что поставило системный анализ в особое положение среди других научных направлений и способствовало его развитию и введению в учебный процесс.

В настоящее время в условиях внедрения в экономику рыночных принципов, предоставления большой самостоятельности предприятиям и регионам роль методов и моделей системного анализа как наиболее конструктивного направления системных исследований возрастает, соответственно повышается необходимость развития этих методов и приближения их к практическим потребностям.

В табл.1.1 среднее положение среди других междисциплинарных направлений занимает системный анализ, так как он использует примерно в одинаковых пропорциях концептуально-методологические представления (что характерно для философии и теории систем) и формализованные методы и модели (что характерно для специальных дисциплин).

Теория систем и системология в большей степени используют философские понятия и качественные представления. Исследование операций, кибернетика, системотехника, напротив, имеют более развитый формальный аппарат, но менее развитые средства качественного анализа и постановки сложных задач с большой неопределенностью и активными элементами.

На технические специальности в основном ориентированы системотехника и кибернетика. Однако инженеры в перспективе становятся руководителями производства, предприятия, и поэтому важно, чтобы они получили необходимые сведения об организационном управлении предприятием, разработке автоматизированных систем управления объектами разного рода.

Для понимания процессов управления и принятия решений полезны общеметодологические представления и закономерности теории систем. Разработка методик анализа целей, методов и моделей совершенствования организационной структуры, управления функционированием социально-экономических объектов, методов организации сложных экспертиз при принятии решений в различных сферах деятельности — основное приложение системного анализа. Поэтому авторы считают эти направления наиболее необходимыми при подготовке инженеров по любым специальностям.

1.2. Понятие о системе

Можно считать, что понятие «система» возникло в древнем мире, когда *Аристотель* обратил внимание на то, что целое (т.е. система) несводимо к сумме частей, его образующих.

Потребность в использовании этого термина возникает в тех случаях, когда невозможно что-то продемонстрировать, изобразить, представить математическим выражением и нужно подчеркнуть, что это будет большим, сложным, не полностью сразу понятным (с неопределенностью), при этом целым, единым, большим.

К таковым, например, относятся — Солнечная система, система управления станком, система организационного управления предприятием (городом, регионом и т.п.), экономическая система, система кровообращения и т.д.

В математике термин «система» используют для отображения совокупности математических выражений или правил — система уравнений, система исчисления, система мер и т.п. Казалось бы, в этих случаях можно было бы воспользоваться терминами «множество» или «совокупность». Однако понятие системы подчеркивает упорядоченность, целостность, наличие определенных закономерностей ее построения, функционирования и развития.

В то же время для применения термина «система» при исследовании, проектировании или управлении необходимо дать этому понятию более точное определение.

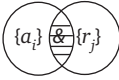
Термин «система» и связанные с ним понятия комплексного, системного подхода исследуют и подвергают осмыслению философы, биологи, психологи, кибернетики, физики, математики, экономисты, инженеры различных специальностей.

Развитие определения системы

Существует несколько десятков определений этого понятия (см. обзоры *В. Н. Садовского*, *А. И. Уёмова* [73, 83]) и коллектива авторов в работе [80]. Их анализ показывает, что определение понятия «система» изменялось не только по форме, но и по содержанию.

Основные и принципиальные изменения, которые происходили с определением системы по мере развития теории систем и использования этого понятия на практике, приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

№ п/п	Классы определений	Символическая запись определения	Примеры определений
I	<i>Элементы</i> (части, компоненты) $A = \{a_i\}$ и <i>связи</i> (отношения) $R = \{r_j\}$. Термины «элементы» — «компоненты», «связи» — «отношения» часто используют (особенно в переводах) как синонимы.	$S \equiv \langle A, R \rangle, \text{ где } A = \{a_i\}, R = \{r_j\};$ $\text{def } S \equiv \langle \{a_i\}, \{r_j\} \rangle;$ $\text{def } a_i \in A \quad r_j \in R$ $S \equiv \langle \{a_i\} \ \& \ \{r_j\} \rangle, \{a_i\} \ \& \ \{r_j\};$ $\text{def } a_i \in A \quad r_j \in R$ 	Л. фон Берталанфи определял систему как «комплекс взаимодействующих компонентов» [16] или «совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой» [17].
a)		<p>Если известно, что элементы принципиально неоднородны, то это можно сразу учесть в определении, выделив разные множества элементов. Например, включить множества $A = \{a_i\}$ и $B = \{b_k\}$:</p> $S \equiv \langle A, B, R \rangle.$ def	В Большой советской энциклопедии система определяется прямым переводом с греческого: «συ-στήμα», состав, т.е. «составленное, соединенное из частей» ¹ .
b)	Однако, строго говоря, «компоненты» — понятие более общее, «связь» и «отношение» тоже не всегда отождествляют (см. обзор В. Н. Садовского [73])	<p>Если какой-то вид отношений r_i применим только к элементам разных множеств и не используется внутри каждого из них, то пишут</p> $S \equiv \langle \{a_i \quad r_i \quad b_k\} \rangle,$ $\text{def } a_i \in A \quad r_i \in R \quad b_k \in B$ <p>где $\{a_i \quad r_i \quad b_k\}$ — элементы новой системы, образованные из элементов исходных множеств A и B.</p>	
в)		<p>Используют и иные формы записи определения</p> $S \subseteq X \times Y, S \subseteq X \cap Y,$ $(1.1в)$ <p>либо в других обозначениях операции пересечения</p> $S \subseteq X \ \& \ Y, S \subseteq X \times Y$ $(1.1г)$	М. Месарович [54] выделяет множество X входных объектов (воздействующих на систему) и множество Y выходных результатов, а между ними — обобщающее отношение пересечения.
г)			
II	<i>Элементы</i> A , <i>связи</i> R , <i>свойства</i> Q .	$S \equiv \langle A, Q_A, R \rangle;$ def	В определении А. Холла [89] <i>свойства</i> (атрибуты) Q_A дополняют понятие элемента (предмета).
a)		$S \equiv \langle \{a_i\} \ \& \ \{r_j(q_j)\} \rangle$ $\text{def } a_i \in A \quad r_j \in R \quad q_j \in Q_R$ $S \equiv \langle \{a_i(q_i)\} \ \& \ \{r_j\} \rangle$ $\text{def } a_i \in A \quad q_i \in Q_A \quad r_j \in R$	А. И. Уёмов [83] определял систему через понятия «вещи», «свойства», «отношения» и предложил двойственные определения, в одном из которых свойства характеризуют элементы (<i>вещи</i>), а в другом — связи (<i>отношения</i>)
b)	$Q_A = \{q_i\}$ — свойства элементов; $Q_R = \{q_j\}$ — свойства связей		

¹ БСЭ. — 2-е. изд. — Т. 39. — С. 158.

Окончание табл. 1.2

№ п/п	Классы определений	Символическая запись определения	Примеры определений
III а)	Элементы A , связи R , свойства Q , цель Z	$S \underset{\text{def}}{=} \langle A, R, Z \rangle, \quad (1.3)$ <p>где Z — цель, совокупность или структура целей.</p>	В определении Ф. Е. Темникова [79, 80] «система — организованное множество» цель появляется при раскрытии понятия <i>организованное</i> . Цель представлялась также в виде <i>конечного результата, системообразующего критерия</i> , — определения В. И. Вернадского, У. Р. Гибсона, П. К. Анохина, М. Г. Гаазе-Раполорта (см. ссылки в книге В. Н. Садовского [73]) (у Садовского не только обзор).
б)	Уточнение условий целеобразования	$S \underset{\text{def}}{=} \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle \quad (1.3a)$	В определении В. Н. Сагатовского уточняются условия целеобразования — <i>среда SR, интервал времени ΔT</i> , т.е. период, в рамках которого будет существовать система и ее цели: система — «конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделенное из среды в соответствии с определенной целью в рамках определенного временного интервала» [66, с. 13—14]
IV а)	Элементы A , связи R , свойства Q , цель Z , «наблюдатель» N , т.е. лицо, представляющее объект или процесс в виде системы при их исследовании	$S \underset{\text{def}}{=} \langle A, R, Z, N \rangle. \quad (1.4)$	На необходимость учета взаимодействия между изучаемой системой и исследователем первоначально указал У. Р. Эшби [103].
б)	«наблюдатель» N , т.е. лицо, представляющее объект или процесс в виде системы при их исследовании	$S \underset{\text{def}}{=} \langle A, Q_A, R, Z, N \rangle. \quad (1.4a)$	Первое определение, в которое в явном виде включен наблюдатель, дал Ю. И. Черняк: «Система есть отражение в сознании субъекта (исследователя, наблюдателя) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования, познания» [92, с. 22].
в)	или принятии решения	$S \underset{\text{def}}{=} \langle A, Q_A, R, Z, N, L_N \rangle \quad (1.46)$	Черняк стал учитывать и язык наблюдателя L_N : «Система — отображение на языке наблюдателя объектов, отношений и их свойств в решении задачи исследования, познания»

В приведенных в табл. 1.2 формализованных записях определений использованы различные способы теоретико-множественных представлений: в I, II — различные способы задания множеств, взаимоотношения между множествами элементов и связей не учитываются; в III отражен тот факт, что система — это не простая совокупность элементов и связей того или иного вида, а включает только те элементы и связи, которые находятся в области пересечения (&) друг с другом (рис. 1.1).

Определения классифицированы на основе принципа дополнения их новыми компонентами в процессе развития представлений о системе: вначале в определения включали только *элементы* и *связи*, затем стали учитывать *цель*, а в последующем — и *наблюдателя* (лицо, принимающее решение, исследователь, проектировщик и т.п.).

В табл. 1.2 представлены, разумеется, не все определения. В работах **В. Н. Садовского** и **А. И. Уёмова** [73, 83] проведен анализ более ста определений и дана иная классификация. В работах **А. И. Уёмова** принята и другая символика. В определениях системы бывает и большее число составляющих, что связано с необходимостью дифференциации в конкретных условиях видов элементов, связей и т.д.

Приведенный принцип классификации определений ориентирован на то, чтобы помочь в выборе определения для исследования конкретных классов систем. На этих определениях основаны методики структуризации целей и функций систем управления.

Так, двойственные определения **А. И. Уёмова** использованы при разработке одной из первых методик структуризации целей; определение **В. Н. Сагатовского** [66] положено в основу методики структуризации, позволяющей учесть взаимодействие системы со средой (см. гл. 5).

Цель может быть представлена в определении не в явном виде. Например, в философском словаре система — «*совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих некоторое целостное единство*»¹, т.е. цель скрыта в понятии «целостное единство».

Сопоставляя эволюцию определения системы (*элементы* и *связи*, затем — *цель*, затем — *наблюдатель*) и эволюцию использования

¹ Философский словарь. — 4-е изд. — М.: Политиздат, 1980. — С. 329.

категорий теории познания в исследовательской деятельности, можно обнаружить сходство: вначале модели (особенно формальные) базировались на учете только *элементов и связей*, взаимодействий между ними, затем — стали уделять внимание *цели*, поиску методов ее формализованного представления (целевая функция, критерий функционирования и т.п.), а, начиная с 60-х гг. XX в. все большее внимание обращают на *наблюдателя*, лицо, осуществляющее моделирование или проводящее эксперимент (даже в физике), т.е. лицо, принимающее решение.

Взгляд на определение системы как на средство ее исследования позволил осознать целесообразность определения, в котором объект не расчленяется на элементы, т.е. разрушается, что делается в вышеприведенных определениях, а представляется как совокупность укрупненных компонент, принципиально необходимых для существования и функционирования исследуемой или создаваемой системы:

$$S \equiv \langle Z, STR, TECH, COND, N \rangle, \quad (1.5)$$

def

где $Z = \{z_i\}$ — совокупность или структура целей; $STR = \{STR_{пр}, STR_{орг}, \dots\}$ — совокупность структур, реализующих цели ($STR_{пр}$ — производственная, $STR_{орг}$ — организационная и т.п.); $TECH = \{meth, means, alg, \dots\}$ — совокупность технологий (*meth* — методы, *means* — средства, *alg* — алгоритмы и т.п.), реализующих систему; $COND = \{\varphi_{ex}, \varphi_{in}\}$ — условия существования системы, т.е. факторы, влияющие на ее создание и функционирование (φ_{ex} — внешние, φ_{in} — внутренние); N — «наблюдатели» (по **У. Р. Эшби** и **Ю. И. Черняку**), т.е. лица, принимающие и исполняющие решения, осуществляющие структуризацию целей, корректировку организационной и производственной структуры, осуществляющие выбор методов и средств моделирования и т.п.

Это определение предложено одним из авторов учебника¹ и первоначально неосознанно было положено в основу методики, базирующейся на концепции деятельности (см. гл. 5).

¹ Волкова, В. Н. Развитие определения системы : сб. трудов Междунар. конф. «Системный анализ в проектировании и управлении». — СПб. : СПбГТУ, 2001. — С. 12—14.

Опираясь на более глубокий анализ сущности понятия системы как на категорию отражения объектов, следует, по-видимому, относиться к этому понятию как к категории теории познания, теории отражения. В связи с этим интересно обратить внимание на вопрос о материальности или нематериальности системы.

Материальна или нематериальна система?

В период становления теории систем довольно часто возникали дискуссии о том, материальны или нематериальны системы.

С одной стороны, стремясь подчеркнуть материальность систем, некоторые исследователи в своих определениях заменяли термин *элемент* терминами *вещь*, *объект*, *предмет*; и хотя последние можно трактовать и как абстрактные объекты или предметы исследования, все же авторы этих определений явно хотели обратить внимание на овеществленность, материальность системы.

С другой стороны, в определениях **С. Оптнера** («система есть средство, с помощью которого выполняется процесс решения проблемы» [65, с.51]) и **Ю. И. Черняка** («система есть способ решения проблемы», а системное мышление — это «способность находить простое в сложном» [93, с. 9]), систему можно трактовать только как отображение, т.е. как нечто, существующее лишь в сознании исследователя, конструктора.

Любой специалист, понимающий закономерности теории отражения, должен, казалось бы, возразить: но ведь очевидно, что замысел (идеальное представление системы) потом будет существовать в материальном воплощении, а для задач принятия решений важно акцентировать внимание на том, что понятие системы может быть средством исследования проблемы, решения задачи. Тем не менее, упомянутые определения подвергались критике со стороны приверженцев материальности систем, особенно философов.

Бессмысленность спора о материальности и нематериальности системы показал **В. Г. Афанасьев** (рис. 1.2): «...объективно существующие системы — и понятие системы; понятие системы, используемое как инструмент познания системы, — и снова реальная система, знания о которой обогащены нашими системными представлениями — такова диалектика объективного и субъективного в системе»¹.

¹ Вопросы философии. — 1980. — № 6. — С. 62—78.

В связи с обсуждаемым вопросом обратим внимание на то, что в Большой советской энциклопедии (далее — БСЭ), наряду с приведенным выше определением дается следующее: система — «*объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе*»¹, т.е. подчеркивается, что понятие элемента (а следовательно, и системы) можно применять как к существующим, материально реализованным предметам, так и к *знаниям* об этих предметах или о будущих их реализациях.



Рис. 1.2

Таким образом, в понятии *система* (как и любой другой категории познания) объективное и субъективное составляют диалектическое единство, и следует говорить не о материальности или нематериальности системы, а о подходе к объектам исследования как к системам, о различном представлении их на разных стадиях познания или создания.

Например, **Ю. И. Черняк** [92] показывает, что один и тот же объект на разных этапах его рассмотрения может быть представлен в различных аспектах, и соответственно предлагает одну и ту же систему представлять на разных уровнях существования: *философском (теоретико-познавательном), научно-исследовательском, проектном, инженерном и т.д. — вплоть до материального воплощения.*

Иными словами, в термин *система* на разных стадиях ее рассмотрения можно вкладывать разные понятия, говорить как бы о существовании системы в разных формах. **М. Месарович** [8], например, предлагает выделять *страты* рассмотрения системы (см. параграф 1.4).

Аналогичные страты могут существовать не только при создании, но и при познании объекта, т.е. при отображении реально существующих объектов в виде абстрактно представляемых в нашем сознании (в моделях) систем, что затем поможет создать новые объекты

¹ БСЭ. — 2-е изд. — Т. 39. — С. 158.

или разработать рекомендации по преобразованию (перестройке, реконструкции) существующих.

Методика системного анализа (или модель системного исследования) может разрабатываться не обязательно с охватом всего процесса познания или проектирования системы, а для одной из ее страт (что, как правило, и бывает на практике), и для того чтобы не возникало терминологических и иных разногласий между исследователями или разработчиками системы, нужно прежде всего четко оговорить, о какой именно страте рассмотрения системы идет речь.

Система и среда

На первых этапах системного анализа важно уметь отделить (*отграничить*, как предлагают называть этот первый этап исследователи систем, чтобы точнее его определить) систему от среды, с которой взаимодействует система. Иногда даже определения системы, применяющиеся на начальных этапах исследования, базируются на отделении системы от среды (см. определения *Дж. Миллера*, *А. Раппопорта* и других в обзоре *В. Н. Садовского* [73]).

Частным случаем выделения системы из среды является определение ее через *входы* и *выходы*, посредством которых система общается со средой. В кибернетике и теории систем такое представление системы называют *черным ящиком*. На этой модели базировались первоначальное определение системы *У. Р. Эшби* [103], определения *Р. Кершнера*, *Дж. Клира* и других (см. обзор *В. Н. Садовского* [73]).

Сложное взаимодействие системы с ее окружением отражено в определении *В. Н. Садовского* и *Э. Г. Юдина*, данным ими во вступительной статье к книге «Исследования по общей теории систем» [38, с.12]: «...2) она образует особое единство со средой; 3) как правило, любая исследуемая система представляет собой элемент системы более высокого порядка; 4) элементы любой исследуемой системы, в свою очередь, обычно выступают как системы более низкого порядка».

Это определение является основой рассматриваемой в параграфе 1.6 закономерности *коммуникативности*. Согласуется с этим определением и развивает его предлагаемое в одной из методик системного анализа целей (гл. 5) разделение сложной среды на *надсистему* или *вышестоящие* системы; *нижележащие* или *подведомственные* системы; системы *актуальной* или *существенной* среды.

Такому представлению о среде соответствует ее определение в словаре-справочнике по математике и кибернетике в экономике: «...среда есть совокупность всех объектов, изменение свойств которых влияет на систему, а также тех объектов, чьи свойства меняются в результате поведения системы» [53].

Выделяет систему из среды наблюдатель, который отделяет (ограничивает) элементы, включаемые в систему, от остальных, т.е. от среды, в соответствии с целями исследования (проектирования) или предварительного представления о проблемной ситуации.

При этом возможны три варианта положения наблюдателя, который может [53]: 1) отнести себя к среде и, представив систему как полностью изолированную от среды, строить замкнутые модели (в этом случае среда не будет играть роли при исследовании модели, хотя может влиять на ее формирование); 2) включить себя в систему и моделировать ее с учетом своего влияния и влияния системы на свои представления о ней (ситуация, характерная для экономических систем); 3) выделить себя из системы и из среды и рассматривать систему как *открытую*, постоянно взаимодействующую со средой, учитывая этот факт при моделировании (такие модели необходимы для развивающихся систем). В последнем случае практически невозможно учесть все объекты, не включенные в систему и отнесенные к среде; их множество необходимо сузить с учетом цели исследования, точки зрения наблюдателя (ЛПР) путем анализа взаимодействия системы со средой, включив этот «механизм» анализа в методику моделирования (что и делается в методиках, рассматриваемых в гл. 5).

Уточнение или конкретизация определения системы в процессе исследования влечет за собой соответствующее уточнение ее взаимодействия со средой и определения среды. В этой связи важно прогнозировать состояние не только системы, но и среды. В последнем случае следует учитывать неоднородность среды, наряду с естественно-природной средой существуют искусственные — техническая среда созданных человеком машин и механизмов, экономическая, информационная, социальная среда.

В процессе исследования граница между системой и средой может деформироваться. Уточняя модель системы, наблюдатель может выделять в среду некоторые составляющие, которые он первоначально включал в систему. И, наоборот, исследуя корреляцию между компонентами сис-

темы и среды, он может посчитать целесообразным включение в систему составляющих среды, имеющих сильные связи с элементами системы.

Выбор определения системы

Рассматривая различные определения системы и их эволюцию и не выделяя ни одно из них в качестве основного, авторы стремились не только показать сложность краткого определения таких (обычно интуитивно постигаемых) понятий, как *система*, но и помочь студенту, будущему специалисту, осознать тот факт, что на разных этапах представления объекта в виде системы, в различных конкретных ситуациях можно пользоваться разными определениями. Причем по мере уточнения представлений о системе или при переходе на другую ступень ее исследования определение системы не только может, но и должно быть уточнено.

Более полное определение, включающее и *элементы*, и *связи*, и *цель*, и *наблюдателя*, а иногда и его «язык» отображения системы, помогает поставить задачу, наметить основные этапы методики системного анализа. Так, в организационных системах, если не определить лицо, компетентное принимать решения, то можно и не достичь цели, ради которой создается система. Но есть системы, для которых наблюдатель очевиден. Иногда не нужно даже в явном виде использовать понятие цели.

В частности, вариант теории систем Ю. А. Урманцева [84], созданный им для исследования относительно невысоко развитых биологических объектов типа растений, не включает понятие цели как несвойственное для этого класса объектов, а понятие целесообразности развития отражает в форме особого вида отношений — *законов композиции*.

Таким образом, при проведении системного анализа нужно прежде всего отобразить ситуацию с помощью как можно более полного определения системы, а затем, выделив наиболее существенные компоненты, влияющие на принятие решения, сформулировать «рабочее» определение, которое может уточняться, расширяться или сужаться в зависимости от хода анализа.

«Рабочее» определение системы помогает исследователю (разработчику) начать ее описание. Далее для того чтобы правильно выбирать необходимые элементы, связи, их свойства и другие составляющие, входящие в принятое «рабочее» определение системы, нужно, чтобы

лица, формирующие это первоначальное, вербальное представление системы, в одинаковом смысле использовали эти понятия.

Выбор определения системы отражает принимаемую концепцию и является фактически началом моделирования. Поэтому с самого начала целесообразно представлять определения в символической форме, способствующей однозначному пониманию ее всеми участниками разработки или исследования системы.

1.3. Понятия, характеризующие строение, функционирование и развитие систем

Обыденная трактовка рассмотренных ниже понятий (*элемент*, *связь* и др.) не всегда совпадает с их значением как специальных терминов системного описания и анализа объектов. Поэтому кратко рассмотрим основные понятия, помогающие уточнять представление о системе.

Обычно принято делить понятия на две группы (рис. 1.3): 1) понятия, входящие в определения системы и характеризующие ее строение; 2) понятия, характеризующие функционирование и развитие системы.

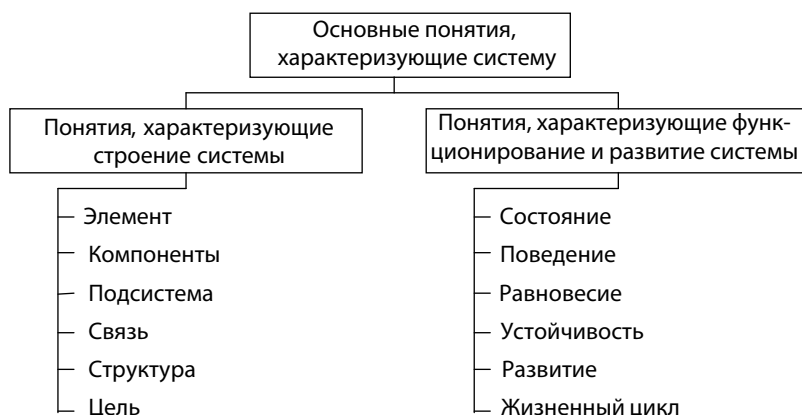


Рис. 1.3

**Понятия,
характеризующие
строение системы**

Понятия, входящие в определение системы, тесно связаны между собой и, по мнению *Л. фон Берталанфи*, не могут быть определены независимо, а опре-

деляются, как правило, одно через другое, уточняя друг друга, и поэтому принятую здесь последовательность их изложения следует считать условной.

Элемент. Под элементом принято понимать простейшую, неделимую часть системы. Однако ответ на вопрос, что является такой частью, может быть неоднозначным.

Пример

В качестве элементов стола можно назвать «ножки, ящики, крышку и т.д.», а можно — «атомы, молекулы», в зависимости от того, какая задача стоит перед исследователем.

Аналогично в системе управления предприятием элементами можно считать подразделения аппарата управления, а можно — каждого сотрудника или каждую операцию, которую он выполняет. С непониманием этой проблемы была связана типичная ошибка при обследовании существующей системы управления как первой стадии разработки АСУ: инженеры в соответствии со своим подходом обеспечения полноты подвергали анализу все документы, вплоть до реквизитов, что существенно затягивало работу, в то время как для разработки технического задания на создание АСУП такой детализации не требовалось.

Поэтому примем следующее определение: *элемент — это предел членения системы с точки зрения аспекта рассмотрения, решения конкретной задачи, поставленной цели.*

Для помощи в выделении элементов при анализе конкретных проблемных ситуаций можно, как показано в гл. 3, использовать информационный подход, и в частности, меру информации восприятия $J = A/\Delta A$, где ΔA — минимальное количество материального свойства A (квант), с точностью до которого исследователя интересует информация об этом свойстве при формировании модели. Примеры использования этого способа определения элементной базы будут приведены в гл. 6—8 (в частности, при моделировании рыночной ситуации).

Систему можно расчленять на элементы различными способами в зависимости от формулировки задачи, цели и ее уточнения в процессе проведения системного исследования. При необходимости можно изменять принцип расчленения, выделять другие элементы и получать с помощью нового расчленения более адекватное представление об анализируемом объекте или проблемной ситуации.

Определяя элемент, пришлось употребить понятие *цель*, которое будет охарактеризовано ниже (понятия, входящие в определение системы, как было отмечено выше, не могут быть определены независимо друг от друга), поэтому была сделана попытка не использовать понятие цели, а поставить рядом с ним понятия *аспекта* рассмотрения, *задачи*, хотя точнее использовать понятие *цель*.

Компоненты и подсистемы. Иногда термин «элемент» используют в более широком смысле, даже в тех случаях, когда система не может быть сразу разделена на составляющие, являющиеся предельно ее членения. Однако при многоуровневом расчленении системы лучше использовать другие термины, предусмотренные в теории систем: сложные системы принято вначале делить на *подсистемы*, или на *компоненты*.

Понятие «подсистема» подразумевает, что выделяется относительно независимая часть системы, обладающая свойствами системы, и в частности, имеющая подцель, на достижение которой ориентирована подсистема, а также другие свойства — целостности, коммуникативности и т.п., определяемые закономерностями систем, рассматриваемыми в параграфе 1.6.

Если же части системы не обладают такими свойствами, а представляют собой просто совокупности однородных элементов, то такие части принято называть компонентами.

Расчленяя систему на подсистемы, следует иметь в виду, что так же, как и при расчленении на элементы, выделение подсистем зависит от цели и может меняться по мере ее уточнения и развития представлений исследователя об анализируемом объекте или проблемной ситуации.

Связь. Понятие «связь» входит в любое определение системы и обеспечивает возникновение и сохранение ее целостных свойств. Это понятие одновременно характеризует и строение (статiku), и функционирование (динамiku) системы.

Связь определяют как ограничение степени свободы элементов. Действительно, элементы, вступая во взаимодействие (связь) друг с другом, утрачивают часть своих свойств, которыми они потенциально обладали в свободном состоянии.

В определениях системы термины «связь» и «отношение» обычно используются как синонимы. Однако существуют разные точки зрения: одни исследователи считают *связь* частным случаем *отношения*; другие — напротив, *отношение* рассматривают как частный случай *связи*; третьи — предлагают понятие «связь» применять для описания статики системы, ее структуры, а понятием *отношение* характеризовать некоторые действия в процессе функционирования (динамики) системы. Не решен (и, видимо, вряд ли может быть решен в общем виде) вопрос о достаточности и полноте сети связей для того, чтобы систему можно было считать системой. Один из подходов к решению этой проблемы предлагается, например, **В. И. Николаевым** и **В. М. Бруком** [51], которые считают, что для того, чтобы система не распалась на части, необходимо обеспечить превышение суммарной силы (мощности) связей между элементами системы, т.е. внутренних связей W_{rv} , над суммарной мощностью связей между элементами системы и элементами среды, т.е. внешних связей W_{rs} :

$$W_{rv} > W_{rs} . \quad (1.6)$$

К сожалению, на практике подобные измерения (особенно в организационных системах) трудно реализовать, однако можно оценивать тенденции изменения этого соотношения с помощью косвенных факторов.

Связи можно охарактеризовать направлением, силой, характером (или видом). По первому признаку связи делят на направленные и ненаправленные. По второму — на сильные и слабые (иногда пытаются ввести «шкалу» силы связей для конкретной задачи). По характеру (виду) различают связи подчинения, порождения (или генетические), равноправные (или безразличные), управления.

Связи в конкретных системах могут быть одновременно охарактеризованы несколькими из названных признаков.

Важную роль в моделировании систем играет понятие *обратной связи*, модели которой приведены в параграфе 2.6. Обратная связь является основой саморегулирования, развития систем, приспособления их к изменяющимся условиям существования.

Многоконтурные модели управления экономическими системами предлагались, например, в словаре-справочнике по математике и кибернетике в экономике [53]. При разработке моделей функционирования сложных саморегулирующихся, самоорганизующихся систем в них, как правило, одновременно присутствуют и отрицательные, и положительные обратные связи. На использовании этих понятий базируется, в частности, имитационное динамическое моделирование [88].

Цель. Понятие «цель» и связанные с ним понятия «целесообразность» и «целенаправленность» лежат в основе развития системы.

Изучению этих понятий большое внимание уделяется в философии, психологии, кибернетике.

Процесс целеобразования и соответствующий ему процесс обоснования целей в организационных системах весьма сложен. На протяжении всего периода развития философии и теории познания происходило развитие представлений о цели (с историей развития понятия «цель» можно познакомиться в книге *М. Г. Макарова* [52]).

Анализ определений цели и связанных с ней понятий показывает, что в зависимости от стадии познания объекта, этапа системного анализа, в понятие «цель» вкладывают различные оттенки (рис. 1.4) — от идеальных устремлений (цель — *«выражение активности сознания»* [52]; *«человек и социальные системы вправе формулировать цели, достижение которых, как им заведомо известно, невозможно, но к которым можно непрерывно приближаться»* [13]), до конкретных целей — *конечных результатов, достижимых в пределах некоторого интервала времени, формулируемых иногда даже в терминах конечного продукта деятельности* [66, 67].

В некоторых определениях цель как бы трансформируется, принимая различные оттенки в пределах условной «шкалы» — от иде-

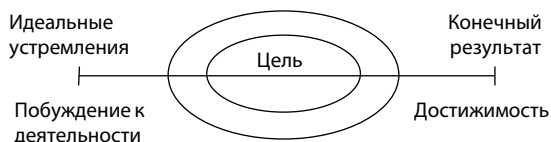


Рис. 1.4

альных устремлений к материальному воплощению, конечному результату деятельности.

Например, **М. Г. Макаров** [52], наряду с приведенным выше определением, целью называет «то, к чему *стремится*, чему *поклоняется* и за что *борется* человек» («борется» подразумевает достижимость в определенном интервале времени); **Л. А. Растригин** и **П. С. Граве** [30, 70], под целью понимают «модель желаемого будущего» (при этом в понятие «модель» можно вкладывать различные оттенки реализуемости) и, кроме того, вводится понятие, характеризующее разновидность цели, и кроме того, вводят понятие «мечта» — *это цель, не обеспеченная средствами ее достижения*» [30]. Противоречие, заключенное в понятии «цель» — необходимость быть побуждением к действию «*опережающим отражением*» (термин введен **П. К. Анохиным**), или «*опережающей идеей*», и одновременно материальным воплощением этой идеи, т.е. быть достижимой, — проявлялось с момента возникновения этого понятия: так, древнеиндийское понятие «артха» включало в себя одновременно значения терминов «мотив», «причина», «желание», «цель» и даже — «способ».

В русском языке вообще не было термина «цель». Этот термин заимствован из немецкого и имеет значение, близкое к понятиям «мишень», «финиш», «точка попадания». В английском языке есть несколько терминов, отражающих различные оттенки понятия цели, в пределах рассматриваемой «шкалы».

Пример

Purpose (цель — намерение, целеустремленность, воля), *object* и *objective* (цель — направление действия, направление движения), *aim* (цель — стремление, прицел, указание), *goal* (цель — место назначения, задача), *target* (цель — мишень для стрельбы, задание, план), *end* (цель — финиш, конец, окончание, предел).

Сущность диалектической трактовки понятия цели раскрывается в теории познания, в которой показывается взаимосвязь понятий *цели, оценки, средства, целостности* (и ее «самодвижения»).

Изучение взаимосвязи этих понятий показывает, что, в принципе, поведение одной и той же системы может быть описано и в терминах цели или целевых функционалов, связывающих цели со средствами их дости-

жения (такое представление называют аксиологическим [53]), и без упоминания понятия цели, в терминах непосредственного влияния одних элементов или описывающих их параметров на другие, в терминах «пространства состояний» (или каузально [53]). Поэтому одна и та же ситуация в зависимости от склонности и предшествующего опыта исследователя может быть представлена тем или иным способом. В большинстве практических ситуаций лучше понять и описать состояние системы и ее будущее позволяет сочетание этих представлений.

Для того чтобы отразить диалектическое противоречие, заключенное в понятии «цель», в БСЭ дается следующее определение: *цель — «заранее мыслимый результат сознательной деятельности человека, группы людей»¹.*

«Заранее мыслимый», но все же «результат», воплощение замысла; подчеркивается также, что понятие цели связано с человеком, его «сознательной деятельностью», т.е. с наличием сознания, а для характеристики целеустремленных, негэнтропийных тенденций на более низких ступенях развития материи принято использовать другие термины.

Рассмотренное понимание цели очень важно при организации процессов коллективного принятия решений в системах управления.

В реальных ситуациях необходимо оговаривать, в каком смысле на данном этапе рассмотрения системы используется понятие «цель», что в большей степени должно быть отражено в ее формулировке — *идеальные устремления*, которые помогут коллективу лиц, принимающих решение, увидеть перспективы, или *реальные возможности*, обеспечивающие своевременность завершения очередного этапа на пути к желаемому будущему.

Проведенный анализ определений понятия «цель» и графическая интерпретация «размытости» философских трактовок цели (см. рис. 1.4), стали важным шагом на пути к практической реализации процессов целеобразования.

В более поздних работах **В. А. Чабровского**, **Г. М. Вапнэ**, **А. М. Гендина** было выработано весьма полезное для практического применения представление о двух различных понятиях цели: «цель деятельности» (актуальная, конкретная цель) и бесконечная по содержанию

¹ БСЭ. — 2-е изд. — Т. 46. — С. 498.

«цель — стремление» (цель — идеал, потенциальная цель) [20]; предложена концепция анализа процесса формулирования и структуризации целей с позиций диалектической логики и высказана идея о единстве цели, средства (варианта) ее достижения и критерия оценки.

Структура. Система может быть представлена, как уже отмечалось, простым перечислением элементов или *черным ящиком* (моделью «вход — выход»). Однако чаще всего при исследовании объекта такого представления недостаточно, так как требуется выяснить, что собой представляет объект, что в нем обеспечивает выполнение поставленной цели, получение требуемых результатов. В этих случаях систему отображают путем расчленения на подсистемы, компоненты, элементы с взаимосвязями, которые могут носить различный характер, и вводят понятие «структура».

Структура (от лат. *«structure»*, означающего строение, расположение, порядок) *отражает «определенные взаимосвязи, взаиморасположение составных частей системы, ее устройство, строение»*¹.

При этом в сложных системах структура включает не все элементы и связи между ними (в предельном случае, когда пытаются применить понятие структуры к простым, полностью детерминированным объектам, понятия структуры и системы совпадают), а лишь наиболее существенные компоненты и связи, которые мало меняются при текущем функционировании системы и обеспечивают существование системы и ее основных свойств. Иными словами, структура характеризует организованность системы, устойчивую упорядоченность элементов и связей.

Структурные связи обладают относительной независимостью от элементов и могут выступать как инвариант при переходе от одной системы к другой, перенося закономерности, выявленные и отраженные в структуре одной из них, на другие. При этом системы могут иметь различную физическую природу.

Одна и та же система может быть представлена разными структурами в зависимости от стадии познания объектов или процессов, от аспекта их рассмотрения, цели создания. При этом по мере развития исследований или в ходе проектирования структура системы может изменяться.

¹ БСЭ. — 2-е изд. — Т. 41. — С. 154.

Структуры, особенно иерархические, как показано ниже, могут помочь в раскрытии неопределенности сложных систем. Иными словами, структурные представления систем являются средством их исследования.

В связи с этим полезно выделить определенные виды (классы) структур и исследовать их, что подробнее рассмотрено в параграфе 1.3.

Процессы, происходящие в сложных системах, как правило, сразу не удастся представить в виде математических соотношений или хотя бы алгоритмов. Поэ-

**Понятия, характеризующие
функционирование
и развитие системы**

тому для того, чтобы хоть как-то охарактеризовать стабильную ситуацию или ее изменения, используют специальные термины, заимствованные теорией систем из теории автоматического регулирования, биологии, философии.

Рассмотрим основные из этих терминов.

Состояние. Понятием «состояние» обычно характеризуют мгновенную фотографию, «срез» системы, остановку в ее развитии. Его определяют либо через входные воздействия и выходные сигналы (результаты), либо через макропараметры, макросвойства системы (давление, скорость, ускорение). Так, говорят о состоянии покоя (стабильные входные воздействия и выходные сигналы), равномерного прямолинейного движения (стабильная скорость) и т.д.

Если рассмотреть элементы a (компоненты, функциональные блоки), учесть, что «входы» можно разделить на управляющие y и возмущающие x (неконтролируемые) и что «выходы» (выходные результаты) зависят от a , y и x , т.е. $g = f(a, y, x)$, то в зависимости от задачи состояние может быть определено как $\{a, y\}$, $\{a, y, g\}$ или $\{a, y, x, g\}$.

Поведение. Если система способна переходить из одного состояния в другое (например, $s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_3 \rightarrow \dots$), то говорят, что она обладает поведением. Этим понятием пользуются, когда неизвестны закономерности (правила) перехода из одного состояния в другое. Тогда говорят, что система обладает каким-то поведением и выясняют его характер, алгоритм.

С учетом введенных обозначений поведение можно представить как функцию

$$s(t) = [s(t-1), y(t), x(t)], \text{ где } t = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Равновесие. Понятие «равновесие» определяют как способность системы в отсутствии внешних возмущающих воздействий (или при постоянных воздействиях) сохранять свое состояние сколь угодно долго. Это состояние называют *состоянием равновесия*.

Пример



Рис. 1.5

Поясняют это понятие обычно на примерах. Простейший пример — равновесие шарика на плоскости (рис. 1.5). Для экономических, организационных систем это понятие применимо достаточно условно.

Устойчивость. Под устойчивостью понимают способность системы возвращаться в состояние равновесия после того, как она была из этого состояния выведена под влиянием *внешних* (или в системах с активными элементами — *внутренних*) возмущающих воздействий. Эта способность обычно присуща системам при постоянном у только тогда, когда отклонения не превышают некоторого предела.

Состояние равновесия, в которое система способна возвращаться, называют *устойчивым состоянием равновесия*. Возврат в это состояние может сопровождаться колебательным процессом. Соответственно в сложных системах возможны неустойчивые состояния равновесия.

Пример



Рис. 1.6

Это понятие также обычно поясняют на примерах. Простейший пример — устойчивое состояние шарика в ямке до величины отклонений (под воздействием внешних возмущений), которые не выбрасывают его из ямки (рис. 1.6).

Равновесие и устойчивость в экономических системах, несмотря на кажущуюся аналогию с техническими, — гораздо более сложные понятия, и ими можно пользоваться в основном как некоторыми аналогиями для предварительного описания поведения системы.

Развитие. Это понятие помогает объяснить сложные термодинамические и информационные процессы в природе и обще-

стве. Исследование процесса развития, соотношения *развития* и *устойчивости*, изучение механизмов, лежащих в их основе, — наиболее сложные задачи теории систем. Ниже будет показано, что целесообразно выделять особый класс *развивающихся* (*самоорганизующихся*) систем, обладающих особыми свойствами и требующих использования специальных подходов к их моделированию.

В развивающихся системах говорят о динамическом равновесии, и устойчивость можно условно представить состоянием равновесия как бы «на ступеньке» (рис. 1.7). Внешнее воздействие может либо вывести систему на более высокий уровень, либо «столкнуть» ее на более низкий уровень.

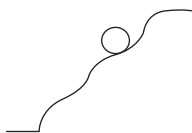


Рис. 1.7

Большинство примеров, приводимых в прикладных главах учебника, будет связано с моделированием процессов в развивающихся системах.

Жизненный цикл (ЖЦ). Под ним понимают период времени от возникновения потребности в системе и ее становления до снижения эффективности функционирования системы и ее «смерти» или ликвидации.

Такая трактовка «*жизненного цикла*» системы сформировалась не сразу. Тот факт, что время является неременной характеристикой системы и что любая система не только возникает, функционирует, развивается, но и погибает, осознавался с древних времен. Однако при создании искусственных систем, а тем более для конкретных сложных технических комплексов, и особенно организационных систем не всегда легко определить эти периоды. История развития понятия «Жизненный цикл» наиболее полно рассмотрена в работах **В. Н. Спицнаделя** [76], который вводит понятие «полного жизненного цикла». Примеры трактовок ЖЦ приведены в табл. 1.3.

Для каждой отрасли промышленности деятельность предприятий и организаций на этапах ЖЦ от формирования требований к продукции до окончания ее эксплуатации определялась в ГОСТах и стандартах. В теории систем первым на необходимость включения в ЖЦ этапа ликвидации системы обратил внимание **В. И. Николаев** [61].

Таблица 1.3*

Методика ПАТТЕРН	Г. С. Поспелов	С. А. Саркисян	М. М. Четвертаков	Е. Г. Яковенко	В. Н. Спицнадель
Теоретическое исследование. Поисковая разработка. Перспективная разработка. Техническое проектирование. Производственная готовность	Замысел новой системы. Целевые НИР. Конкурсные аванпроекты НИР, ОКР. Капитальное строительство. Серийное производство. Прекращение производства и снятие с эксплуатации	Создание аналога и формирование ТЗ. Создание технической концепции и ее реализация (техпроект, опытный образец, испытания). Развертывание серийного производства и подготовка кадров. Снятие с серийного производства и эксплуатации	Формулировка концепции. Проектирование. Освоение. Эксплуатация. Модернизация. Ликвидация	Исследование. Проектно-конструкторские работы, опытно-экспериментальные работы. Подготовка производства. Освоение и серийное производство. Эксплуатация	Исследование. Проектирование. Технологический этап. Производство. Эксплуатация. Ликвидация

* См. ссылки на литературу, в которой приведены примеры трактовок ЖЦ, в справочнике : учеб. пособия под ред. **В. Н. Волковой** и **А. А. Емельянова** [12].

Понятие «жизненный цикл» используется в качестве признака структуризации при разработке *методик структуризации целей и функций* (см. гл. 5). Примеры этапов ЖЦ для различных видов продукции или услуг — от формирования или прогнозирования потребностей до потребления или поставки заказчику — приведены на рис. 1.8: для производства относительно простых видов продукции (рис. 1.8, а); для производства сложных технических изделий и комплексов (рис. 1.8, б); для разработки автоматизированных систем управления производством — АСУП (рис. 1.8, в); для ремонта сложных изделий или оборудования (рис. 1.8, г); для принятия и исполнения управленческого решения (рис. 1.8, д).

В более поздних работах понятие «жизненный цикл» стали связывать с закономерностью *историчности* (см. параграф 1.5). При этом закономерность историчности учитывается не только пассивно, но и используется для предупреждения «смерти» системы путем ее реконструкции, реорганизации с целью сохранения в новом качестве.

Интересный подход к выделению этапов жизненного цикла предприятия предложен в трудах американского исследователя **И. Адизеса** в конце 80-х гг. XX в. (см. ссылки на источники литературы в справочнике : учеб. пособия под ред. **В. Н. Волковой** и **А. А. Емельянова** [12]).

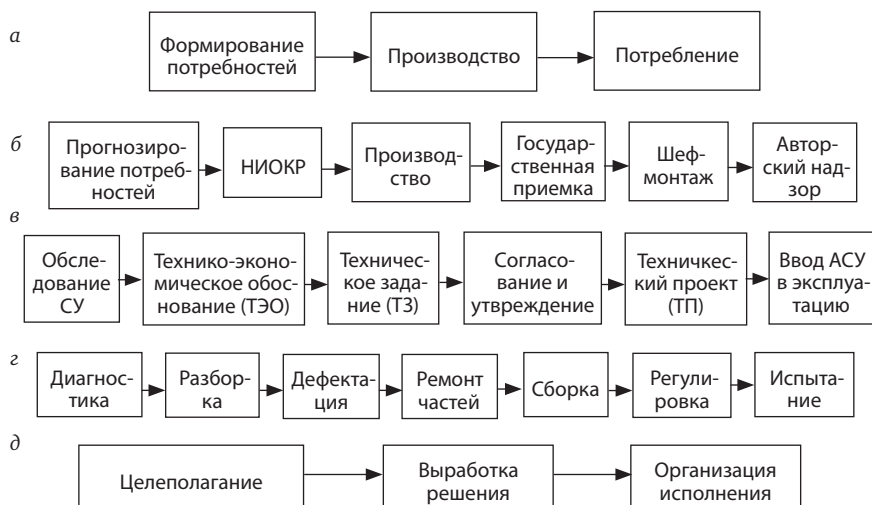


Рис. 1.8

Проводятся также более глубокие исследования ЖЦ с учетом природных циклов *Н. Д. Кондратьева*. Предлагается прогнозировать точки начала спада эффективности и выводить систему на новый уровень *эквифинальности* (см. об этой закономерности в параграфе 1.5), подробности показаны на рис. 1.9.

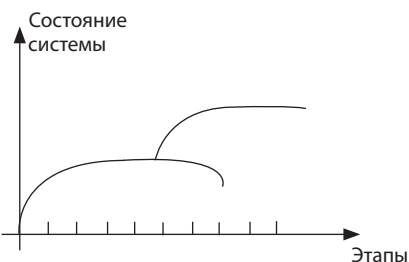


Рис. 1.9

Согласно данной теории для выживания и развития организации особое значение имеют два параметра: гибкость и контролируемость (управляемость). Все этапы жизненного цикла можно разделить на две группы: этапы роста и этапы старения. Рост начинается с зарождения и заканчивается расцветом (*выхаживание, младенчество, стадия быстрого роста, юность, расцвет*). Старение берет начало со стабилизации и заканчивается смертью организации (*стабилизация, аристократизм, бюрократизация и смерть*).

1.4. Виды и формы представления структур

Структурные представления могут являться средством исследования систем. Различные виды структур имеют специфические особенности и могут рассматриваться как самостоятельные понятия теории систем и системного анализа. Кратко охарактеризуем основные из них (рис. 1.10).

Обычно понятие «структура» связывают с графическим отображением. Однако это не обязательно. Структура может быть представлена в матричной форме, в форме теоретико-множественных описаний, с помощью языка топологии, алгебры и других средств моделирования систем.

Сетевая структура, или сеть (рис. 1.10, а)

Она представляет собой декомпозицию системы *во времени*.

Такие структуры могут отображать порядок действия технической системы (телефонная, электрическая сеть и т.п.), этапы деятельности человека (при производстве продукции — сетевой график, при проектировании — сетевая модель, при планировании — сетевой план и т.д.).

В виде сетевых моделей в последующих главах представлены методики системного анализа.

При применении сетевых моделей используют определенную терминологию: *вершина, ребро, путь, критический путь* и т.д. Элементы сети могут быть расположены последовательно и параллельно.

Сети бывают разные. Наиболее распространены и удобны для анализа *однонаправленные сети*. Но могут быть и сети с обратными связями, циклами.

Для анализа сложных сетей существует математический аппарат теории графов, прикладная теория сетевого планирования и управления, широко распространенная при представлении процессов организации производства и управления предприятиями.

Иерархические структуры (рис. 1.10, б, в, е, ж)

Они представляют собой декомпозицию системы *в пространстве*. Все компоненты (вершины, узлы) и связи (дуги,

соединения узлов) существуют в этих структурах одновременно (не разнесены во времени). Такие структуры могут иметь не два (как для простоты показано на рис. 1.10, б и в), а большее число уровней декомпозиции (структуризации). Структуры, в которых каждый элемент нижележащего уровня подчинен одному узлу (одной вершине) вышестоящего (и это справедливо для всех уровней иерархии), называют *древовидными структурами, типа «деревя»*, структурами, на которых выполняется отношение древесного порядка, иерархическими структурами с «*сильными*» связями (см. рис. 1.10, б).

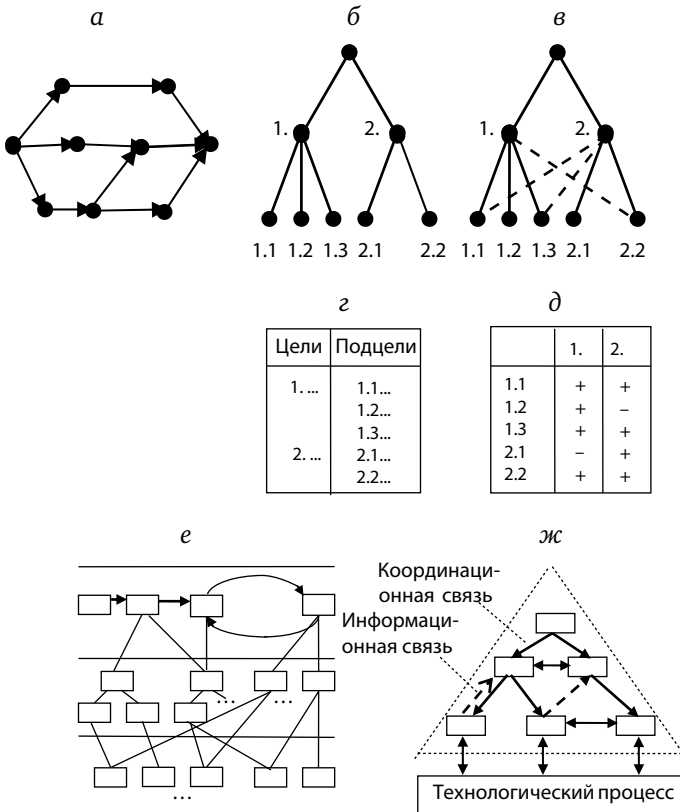


Рис. 1.10

Структуры, в которых элемент нижележащего уровня может быть подчинен двум и более узлам (вершинам) вышестоящего, называют иерархическими структурами со «слабыми» связями (см. рис. 1.10, в).

Иерархическим структурам, приведенным на рис. 1.10, б и в, соответствуют *матричные* структуры на рис. 1.10, г и д. Отношения, имеющие вид «слабых» связей между двумя уровнями на рис. 1.10, в, подобны отношениям в матрице, образованной из составляющих этих двух уровней на рис. 1.10, д. Причем знак «+» на рис. 1.10, д означает наличие связи между элементами системы на рис. 1.10, в, а знак «—» — отсутствие таковой связи.

Наибольшее распространение имеют древовидные иерархические структуры, с помощью которых представляют конструкции сложных технических изделий и комплексов, структуры классификаторов и словарей, целей и функций (см. гл. 5), производственные, организационные структуры предприятий (см. гл. 8).

Иерархии со «слабыми» связями применяют в тех случаях, когда цели сформулированы слишком близко к идеальным устремлениям и недостаточно средств для их реализации, для представления некоторых видов организационных структур (см., например, линейно-функциональные структуры в гл. 8, вертикальные связи в структуре управления государством на рис. 1.18).

В общем случае термин «иерархия» (от греч. *ιєραρχία*) шире, он означает «соподчиненность, порядок подчинения низших по должности и чину лиц высшим, возник как наименование служебной лестницы в религии»¹, широко применяется для характеристики взаимоотношений в аппарате управления государством, армией и т.д., затем концепция иерархии была распространена на любой согласованный по подчиненности порядок объектов.

Поэтому в принципе в иерархических структурах важно лишь выделение уровней соподчиненности, а между уровнями и между компонентами в пределах уровня в принципе могут быть любые взаимоотношения. В соответствии с этим существуют структуры, использующие иерархический принцип, но имеющие специфические особенности, и их целесообразно выделить особо.

В частности, Т. Саати [72] рассматривает следующие виды иерархий: *доминантные* (похожие на перевернутое дерево с основой в вершине);

¹ БСЭ. — 2-е изд. — Т. 11. — С. 343.

холлархии (доминантные иерархии с обратной связью) и *китайский ящик*, или *модулярные иерархии*. Последние растут в размерах от простейших компонент (внутренние ящики) ко все более крупным совокупностям (внешние ящики). В биологии существуют *неогенетические* иерархии, в которых новые верхние уровни возникают последовательно в процессе эволюции.

В теории систем **М. Месаровича** [8] предложены особые классы иерархических структур типа *страт*, *слоев*, *эшелонов*, отличающиеся различными принципами взаимоотношений элементов в пределах уровня и различным правом вмешательства вышестоящего уровня в организацию взаимоотношений между элементами нижележащего.

Многоуровневые иерархические структуры

Учитывая важность этих видов структур для решения проблем управления предприятиями в современных условиях многоукладной экономики, проектирования сложных систем, остановимся на их характеристике несколько подробнее.

Страты. При отображении сложных систем основная проблема состоит в том, чтобы найти компромисс между простотой описания, позволяющей составить и сохранять целостное представление об исследуемом или проектируемом объекте, и детализацией описания, позволяющей отразить многочисленные особенности конкретного объекта. Один из путей решения этой проблемы — задание системы семейством моделей, каждая из которых описывает поведение системы с точки зрения соответствующего уровня абстрагирования. Для каждого уровня существуют характерные особенности, законы и принципы, с помощью которых описывают поведение системы на этом уровне. Такое представление названо Месаровичем *стратифицированным*, а уровни абстрагирования — *стратами* (см. рис. 1.10, е).

В качестве простейшего примера стратифицированного описания на рис. 1.11 приведено отображение ЭВМ в виде двух страт:

нижняя страта — *физические операции* (система описывается на языке физических законов, управляющих работой и взаимодействием ее механических и электронных элементов);

верхняя — *математические и логические операции* (программирование и реализация программ, осуществляемые с помощью абстрактных, нефизических понятий, информационные потоки, команды языков программирования и т.п.).

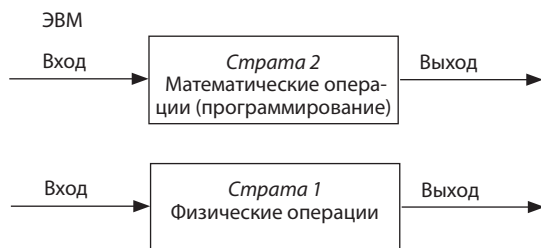


Рис. 1.11

При этом отмечается, что в принципе может представлять интерес описание системы (ЭВМ) и на других уровнях абстрагирования, помимо названных двух основных. При конструировании некоторых электронных компонентов может представить интерес страта *атомной физики*, а при разработке сложного программного обеспечения, систем с разделением времени — *системная* страта.

Аналогичное представление используется при разработке банков и баз данных, в которых принято выделять *физический* уровень хранения данных, *логический* и *системно-логический* уровни.

В стратифицированном виде можно представить и проблему моделирования текста: буквы → слова → предложения → абзацы → текст.

При этом могут быть введены правила преобразования элементов одного уровня в другой (синтеза или, наоборот, разборки текста), что полезно при создании автоматизированных информационных систем и систем аналитико-синтетической обработки текстов, разработке языков моделирования, автоматизации проектирования.

Примером стратифицированного описания может также служить предложенное **Ю. И. Черняком** в работе [92] выделение уровней абстрагирования системы от философского или теоретико-познавательного описания ее замысла до материального воплощения (рис. 1.12).

Такое представление помогает понять, что одну и ту же систему на разных стадиях познания и проектирования можно (и нужно) описывать различными выразительными средствами, т.е. как бы на разных «языках»: *философском* или *теоретико-познавательном* — вербальное описание замысла, концепции; *научно-исследовательском* — в форме моделей разного рода, помогающих глубже понять и раскрыть замысел системы; *проектном* — техническое

Система	
<i>Страта 6.</i>	Философское или теоретико-познавательное описание замысла системы
<i>Страта 5.</i>	Представление системы на языке выбранной научной теории
<i>Страта 4.</i>	Проектное представление системы
<i>Страта 3.</i>	Конструкция (конструкторская документация)
<i>Страта 2.</i>	Технология (технологическая документация)
<i>Страта 1.</i>	Материальное воплощение системы

Рис. 1.12

задание и технический проект, для разработки и представления которого могут понадобиться математические расчеты, принципиальные схемы; *конструкторском* — конструкторские чертежи, сопровождающая их документация; *технологическом* — технологические карты, стандарты и другая технологическая документация; (конструкторская и технологическая страты могут быть объединены); *материальное воплощение, реализация* системы — детали, блоки, собранное изделие или созданная система, принципы функционирования которой отражены в соответствующей нормативно-технической и нормативно-методической документации (инструкциях по эксплуатации, положениях и т.п.).

Пример использования такого представления при проектировании системы управления предприятиями и организациями приведен в гл. 8.

Страты могут выделяться по разным принципам.

Пример

При представлении системы управления предприятием страты могут соответствовать сложившимся уровням: управление *технологическими* процессами (собственно производственным процессом) и *организационное* управление предприятием. Если предприятие входит в объединение, то к этим двум стратам добавляется уровень управления объединением. Этот же принцип может быть положен в основу выделения страт в структуре функциональной части АСУ.

Стратифицированное представление используется и как средство последовательного углубления представления о системе, ее детализации (рис. 1.13): чем ниже опускаемся по иерархии страт, тем

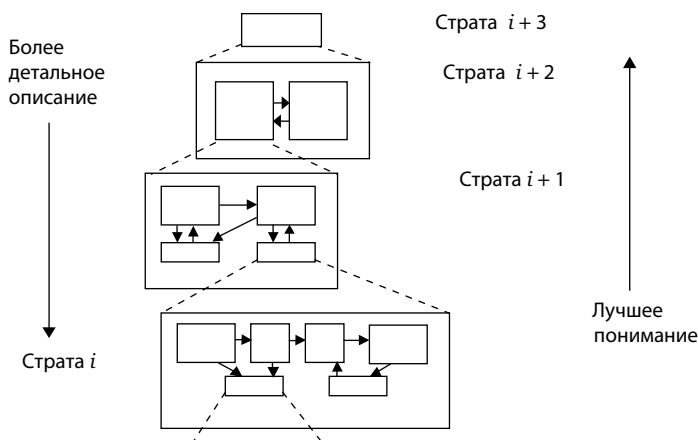


Рис. 1.13

более детальным становится раскрытие системы; чем выше поднимаемся, тем яснее становится смысл и значение всей системы.

Объяснить назначение системы с помощью элементов нижней страты в сложных системах практически невозможно.

Пример

Изучение принципов построения и функционирования отдельных клеток организма, каким бы детальным оно ни было, не позволяет понять построение и функционирование органов, которые состоят из этих клеток, а изучение органов не позволит полностью понять функционирование всего организма в целом. Но, с другой стороны, чтобы правильно понять и реализовать общий замысел системы, сконструировать ее, необходимо реализовать нижележащие страты.

Идею детализации системы на каждом последующем уровне **Ф. Е. Темников** иллюстрировал так, как показано на рис. 1.14. Следует отметить, что термин «страты» в тот период им не применялся.

Начинать изучение системы можно с любой страты, в том числе со страты, находящейся в середине стратифицированного представления. В процессе исследования могут добавляться новые страты, изменяться подход к выделению страт. На каждой страте может

использоваться свое описание, своя модель, но система сохраняется до тех пор, пока не изменяется представление на верхней страте — ее концепция, замысел, который нужно не исказить при раскрытии на каждой последующей страте.

Слои. Второй вид многоуровневой структуризации предложен **М. Месаровичем** для организации процессов принятия решений. Для уменьшения неопределенности ситуации выделяются *уровни сложности* принимаемого решения — *слои*, т.е. определяется совокупность последовательно решаемых проблем. При этом выделение проблем осуществляется таким образом, чтобы решение вышележащей определяло бы ограничения (допустимую степень упрощения) при моделировании на нижележащем уровне, т.е. снижало бы неопределенность нижележащей проблемы, но без утраты замысла решения общей проблемы.

Многослойную иерархию можно проиллюстрировать (рис. 1.15): каждый слой представляет собой блок D_i , принимающий решения и вырабатывающий ограничения X_j для нижележащего $(i - 1)$ -го блока.

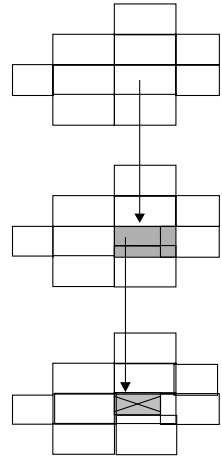


Рис. 1.14

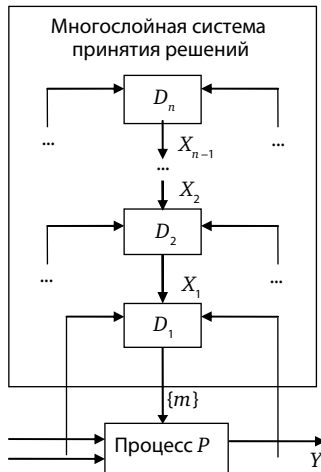
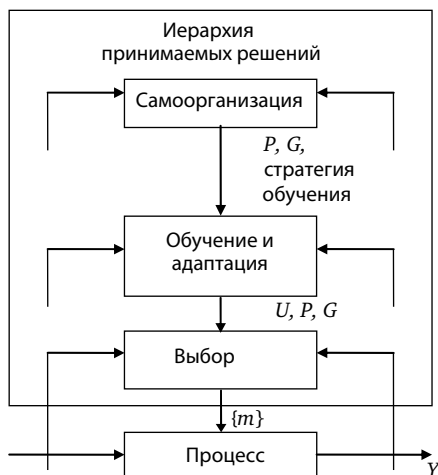


Рис. 1.15

Пример**Рис. 1.16**

Рассмотрим многослойную иерархию принятия решения по управлению каким-либо процессом. В ней в условиях неопределенности можно выделить [8] три основных аспекта проблемы принятия решения, приведенные на рис. 1.16. Нижний слой, самый «близкий» к управляемому процессу, — *слой выбора*. Задача этого слоя — выбор способа действий m . Принимающий решения элемент (блок) получает данные (информацию) об управляемом процессе и, применяя алгоритм, полученный на верхних слоях, находит нужный способ действия, т.е. последовательность управляющих воздействий на управляемый процесс. Алгоритм может быть определен непосредственно как функциональное отображение D , дающее реше-

ние для любого набора начальных данных. Предположим, что заданы выходная функция P и функция оценки G , а выбор действий $\{m\}$ основан на применении оценки G к P . Используя теоретико-множественные представления, выходную функцию можно определить как отображение $P: M \times U \rightarrow Y$, где M — множество альтернативных действий; Y — множество возможных результатов на выходе (или «выходов»); U — множество неопределенностей, адекватно отражающее отсутствие знаний о зависимости между действием m и выходом Y .

Аналогично функция оценки G есть отображение $G: M \times Y \rightarrow V$, где V — множество величин, которые могут быть связаны с характеристиками качества работы системы. Если множество U состоит из единственного элемента или является пустым, т.е. относительно результата на выходе для данного действия m нет неопределенности, выбор может основываться на оптимизации: найти такое m' в M , чтобы величина $v' = G(m', P(m'))$, была меньше, чем $v = G(m, P(m))$ для любого другого действия $m \in M$. Если U — более богатое множество, приходится предлагать некоторые другие процедуры для выбора способа решения. Возможно при этом придется ввести и некоторые другие отображения, помимо P и G . Но в общем случае для того, чтобы определить задачу выбора на первом слое, необходимо уточнить множество неопределенностей U , требуемые отношения P , G и т.д. Это осуществляется на верхних слоях.

Вышележащий по отношению к рассматриваемому слою — *слой обучения или адаптации*. Задача этого слоя — конкретизировать множество неопределенностей U , с которым имеет дело слой выбора. Множество неопределенностей U рассматривается здесь как множество, включающее в себя все незнание о поведении системы и отражающее все гипотезы о возможных источниках и типах таких неопределенностей. Множество U может быть получено с помощью наблюдений и внешних источников информации. Назначение рассматриваемого слоя — сузить множество неопределенностей U и таким образом упростить модель слоя выбора. В случае стационарности системы и среды U может быть предельно сужено вплоть до одного элемента, что соответствует идеальному обучению. Однако в общем случае U может включать не только существующие, но и предполагаемые системой принятия решения неопределенности, и в случае необходимости U может быть полностью изменено, расширено, в том числе за счет изменения ранее принятой базисной гипотезы.

Третий, в данном случае верхний, — *слой самоорганизации*. На этом слое выбираются структура, функции и стратегии, используемые на нижележащих слоях таким образом, чтобы по возможности приблизиться к отображению цели, которая обычно задается в форме вербального описания. Если цель не достигнута, могут быть изменены функции P и G на первом слое или стратегия обучения на втором.

Многослойные системы принятия решений полезно формировать для решения задач планирования и управления промышленными предприятиями, отраслями, народным хозяйством в целом. При постановке и решении таких проблем нельзя раз и навсегда определить цели, выбрать конкретные действия: экономические и технологические условия производства непрерывно изменяются. Все это можно отразить в многослойной модели принятия решений.

Примером приложения идеи выделения слоев могут служить многоуровневые экономико-математические модели планирования и управления отраслями, народным хозяйством, разрабатываемые в нашей стране в 1970—1980-х гг., а позднее — и промышленными предприятиями.

Эшелоны. У **М. Месаровича** понятие *многоэшelonной* иерархической структуры дается следующим образом [8]: система представляется в виде относительно независимых, взаимодействующих между собой подсистем; при этом некоторые (или все) подсистемы имеют права принятия решений, а иерархическое расположение подсистем (многоэшelonная структура) определяется тем,

что некоторые из них находятся под влиянием или управляются вышестоящими. Структурные представления такого типа условно иллюстрируются на рис. 1.10, ж и более детально — на рис. 1.17. Уровень такой иерархии называют *эшеленом*.

Основной отличительной особенностью многоэшелонной структуры является предоставление подсистемам всех уровней определенной свободы в выборе их собственных решений; причем эти решения могут (но не обязательно) отличаться от тех, которые бы выбрал вышестоящий уровень. Предоставление свободы действий в принятии решений компонентам всех эшелонов иерархической структуры повышает эффективность ее функционирования. Подсистемам предоставляется определенная свобода и в выборе целей. Поэтому *многоэшелонные* структуры называют также *многоцелевыми*.

В таких системах могут быть использованы разные способы принятия решений. Естественно, что при предоставлении подсистемам прав самостоятельности они могут формировать противоречащие друг другу («конфликтные») цели и решения, что затрудняет управление, но является в то же время одним из условий повышения эффективности функционирования системы. Разрешение конфликтов достигается путем вмешательства вышестоящего эшелона. При этом управляющие воздействия, поступающие для разреше-

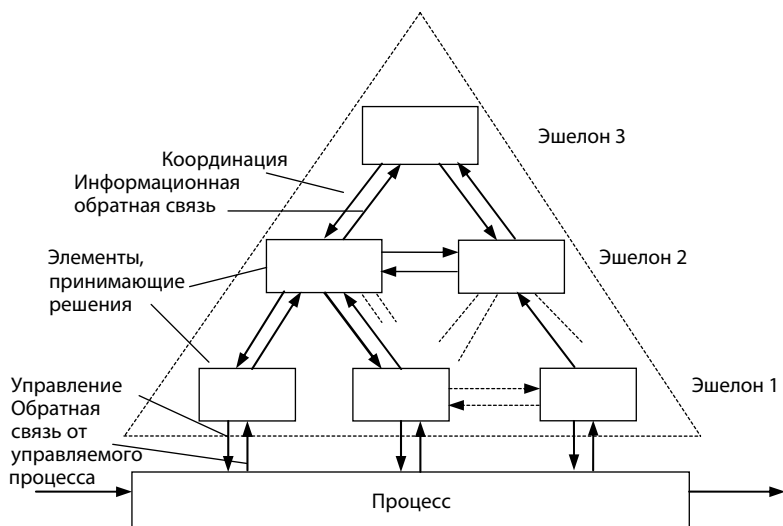


Рис. 1.17

ния этих противоречий со стороны вышестоящих уровней иерархии, могут быть разной силы.

Для того чтобы на это обратить внимание **М. Месарович** [8] разделяет понятия собственно «управления» и «координации». При этом последнее понятие может иметь разную силу воздействия («вмешательства») и осуществляется в различной форме. В связи с этим теорию многоуровневых систем **М. Месаровича** иногда называют *теорией координации*. В этой теории рекомендуется, чтобы в процессе принятия решений подсистемы не всегда стремились бы отстаивать свои интересы, доводя дело до конфликтных ситуаций, а вступали бы в *коалиции*.

В зависимости от принятых принципов (*конфликты* или *коалиции*) силы и формы вмешательства вышестоящих эшелонов в дела нижележащих процесс принятия решения может происходить по-разному, т.е. по-разному может быть организована система управления принятием решений, поэтому многоэшелонные, многоцелевые иерархические структуры называют также *организационной иерархией*.

Отношения, подобные принятым в эшелонированных структурах, реализуются в практике управления в форме так называемых *холдинговых* структур, или *холдингов*. Правила взаимоотношений между фирмами, банками, торговыми домами и другими организациями, входящими в холдинг, оговариваются в соответствующих договорах и других нормативно-правовых и нормативно-технических документах.

В форме матричного представления могут быть отображены взаимоотноше-

Матричные структуры

ния между уровнями иерархической структуры. Например, древовидная иерархическая структура, приведенная на рис. 1.10, б, может быть представлена матричной структурой, приведенной на рис. 1.10, г, что иногда удобнее на практике при оформлении планов, поскольку помимо иерархической соподчиненности тематической основы плана, в нем нужно еще указать исполнителей, сроки выполнения, формы отчетности и другие сведения, необходимые для контроля за выполнением плана. Разновидности такого вида матричного представления иерархических взаимоотношений используются в толковых словарях, информационно-поисковых языках дескрипторного типа, автоматизированных диалоговых процедурах анализа целей и функций (см. гл. 5), поскольку при использовании подобных диалоговых процедур первоначально неизвестно количество ветвей на каждом уровне иерархии.

В виде двумерной матричной структуры (см. рис. 1.10, д) могут быть представлены взаимоотношения между уровнями иерархии со

«слабыми» связями (см. рис. 1.10, в); при этом помимо наличия связей в матрице может быть охарактеризована и сила связей либо словами («сильная» — «слабая»), либо путем введения количественных характеристик силы (значимости, длительности и т.п.) связи.

Матричные структуры могут быть и многомерными. Но в этих случаях их графическое представление становится неудобным, и тогда применяют символическое алгебраическое отображение или представление многомерной структуры в виде тензора.

Кроме того, матричные структуры сложных систем могут быть представлены и в форме, когда одна или даже все оси структуры образованы как иерархические, что, например, имеет место при представлении организационных структур, сочетающих линейный, функциональный и программно-целевой принципы управления.

Смешанные иерархические структуры с вертикальными и горизонтальными связями

В реальных системах организационного управления (особенно на уровне региона, государства) могут быть использованы одновременно несколько видов иерархических структур — от древовидных до

многоэшелонных. Такие иерархические структуры называют смешанными. При этом основой объединения структур могут служить страты, и поэтому в принципе можно считать их развитием стратифицированного представления.

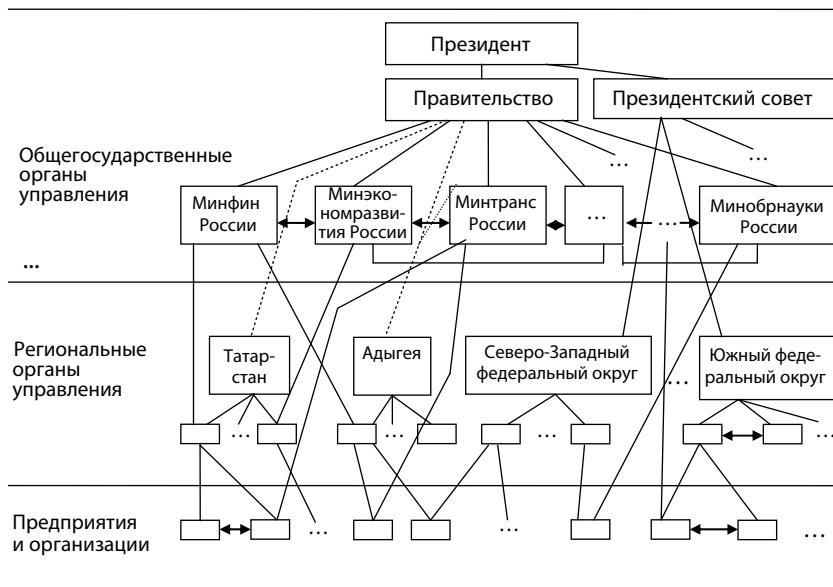
В таких смешанных иерархических структурах бывают как вертикальные связи разной силы (управление, координация), так и горизонтальные взаимодействия между элементами (подсистемами) одного уровня.

Впервые идея структур такого вида была предложена **В. М. Глушковым** при разработке общегосударственной автоматизированной системы управления¹.

Пример

Приведем модель структуры управления государством (рис. 1.18). В нашей стране управление всегда осуществлялось с использованием смешанного территориально-отраслевого принципа управления. В соответствии с этим принципом органы территориального и отраслевого управления не могут рассматриваться как подчиненные друг другу. Это всегда затрудняло графическое представление структуры управления страной.

¹ Глушков, В. М. Что такое ОГАС / В. М. Глушков, В. Я. Валях. — М. : Наука, 1981. — С. 160.

**Рис. 1.18**

На рис. 1.18 за основу принято многоуровневое представление: на верхнем уровне расположены общегосударственные (территориальные) и отраслевые органы управления (отраслевые министерства); на среднем — региональные органы управления (республики, федеральные округа), в числе которых могут существовать отраслевые региональные министерства, департаменты; на нижнем — предприятия и организации.

Для простоты на рисунке не показан еще один уровень управления — областей, краев, на которые делятся республики и федеральные округа. В этой структуре существует древовидная иерархическая подчиненность исполнительных органов управления регионального и общегосударственного уровней. В то же время предприятия и организации имеют, как правило, двойное подчинение — отраслевым министерствам и территориальным (региональным) органам управления, что соответствует иерархии со «слабыми» связями.

В свою очередь между общегосударственными органами управления при принятии решений по сложным проблемам устанавливаются горизонтальные взаимодействия для согласования решений, взаимного обмена информацией и т.д. Аналогичные связи существуют между соответствующими органами регионального управле-

ния. В период предоставления большей самостоятельности регионам и развития хозяйственной самостоятельности предприятий горизонтальные связи возникли и на нижних уровнях.

Представленная на рис. 1.18 структура организационного управления страной помогает принимать решения о том, какой из принципов управления — территориальный или отраслевой — должен преобладать в тот или иной периоды развития экономики.

Разумеется, что на рис. 1.18 проиллюстрирован только общий принцип взаимоотношений между различными органами управления страной, а реальная структура формируется с помощью соответствующих нормативно-правовых и нормативно-методических документов, в которых регламентируются конкретные взаимодействия между органами управления.

Смешанный характер носит и организационная структура современного предприятия (холдинга, концерна и т.п.). Организационные структуры, называемые матричными, являются фактически тоже смешанными, поскольку они сочетают матричные и иерархические представления.

Структуры с произвольными связями

Этот вид структур обычно используется на начальном этапе познания объекта, новой проблемы, когда идет поиск способов установления взаимоотношений

между перечисляемыми компонентами, нет ясности в характере связей между элементами, и не могут быть определены не только последовательности их взаимодействия во времени (сетевые модели), но и распределение элементов по уровням иерархии.

При этом важно обратить внимание на достаточно распространенную ошибку при применении произвольных структур. Из-за неясности взаимодействий между элементами вначале стремятся установить и представить графически все связи (рис. 1.19, а). Однако

такое представление не добавляет ничего нового к представлению элементов без связей (рис. 1.19, б), поскольку принятие решений всегда зависит от установления наиболее существенных связей. Представление типа рис. 1.19, а правомерно в тех случаях, когда хотя бы устанавливаются сила связей и их направленность.

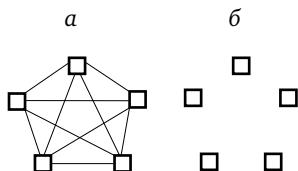


Рис. 1.19

Следует отметить, что приведенные на рис. 1.19 представления фактически являются различными подходами к исследованию проблемы: можно, не имея вначале ни одной связи, искать и оценивать их последовательно, используя, например, один из методов морфологического моделирования — метод систематического покрытия поля (см. гл. 2), или другие методы анализа пространства состояний путем введения мер близости; а можно действовать по принципу Родена, сформулированному в стихотворной форме *Н. Доризо*: «Взяли камень, убрали из камня все лишнее, и остались прелестные эти черты»¹.

Формируются структуры с произвольными связями путем установления возможных отношений между предварительно выделенными элементами системы, введения ориентировочных оценок силы связей, и, как правило, после предварительного формирования и анализа таких структур связи упорядочивают и получают иерархические или сетевые структуры.

1.5. Классификация систем

Системы разделяют на классы по различным признакам, и в зависимости от решаемой задачи можно выбирать разные принципы классификации.

Примеры классификации систем

Предпринимались попытки классифицировать системы по следующим признакам:

- по виду отображаемого объекта (технические, биологические, экономические и т.п. системы);
- виду научного направления, используемого для их моделирования (математические, физические, химические и др.);
- взаимодействию со средой (открытые и закрытые);
- величине и сложности.

Предлагалось также различать следующие типы систем:

- детерминированные и стохастические;

¹ Доризо, Н. У статуи Венеры / Н. Доризо // Избранное. — М. : Гос. изд-во худ. лит., 1963.

- *абстрактные и материальные* (существующие в объективной реальности); и т.д.

Классификации всегда относительны. Так, в *детерминированной* системе можно найти элементы *стохастичности*, и, напротив, детерминированную систему можно считать частным случаем стохастической (при вероятности равной единице).

Аналогично, если принять во внимание диалектику субъективного и объективного в системе, то станет понятной относительность разделения систем на *абстрактные* и *объективно существующие*: это могут быть стадии развития одной и той же системы.

Действительно, естественные и искусственные объекты, отражаясь в сознании человека, выступают в роли абстракций, понятий, а абстрактные проекты создаваемых систем воплощаются в реально существующие объекты, которые можно ощутить, а при изучении снова отразить в виде абстрактной системы.

Однако относительность классификаций не должна останавливать исследователей. Цель любой классификации — ограничить выбор подходов к отображению системы, сопоставить выделенным классам приемы и методы системного анализа и дать рекомендации по выбору методов для соответствующего класса систем. При этом система, в принципе, может быть одновременно охарактеризована несколькими признаками, т.е. ей может быть найдено место одновременно в разных классификациях, каждая из которых может оказаться полезной при выборе методов моделирования.

Рассмотрим некоторые из наиболее важных классификаций систем.

Открытые и закрытые системы. Понятие «открытая система» ввел *Л. фон Берталанфи* [16, 17, 107]. Основные отличительные черты открытых систем — способность обмениваться со средой массой, энергией и информацией. В отличие от них предполагается, что закрытые системы (разумеется, с точностью до принятой чувствительности модели) полностью лишены этой способности, т.е. изолированы от среды.

Возможны частные случаи: например, не учитываются гравитационные и энергетические процессы, а в модели системы отражается только обмен информацией со средой; тогда говорят об

информационно-проницаемых или, соответственно, об информационно-непроницаемых системах.

С моделью открытой системы **Берталанфи** можно познакомиться в его книгах по общей теории систем [16, 17]. Там же рассмотрены некоторые интересные особенности открытых систем.

Одна из наиболее важных состоит в следующем. В открытых системах «проявляются термодинамические закономерности, которые кажутся парадоксальными и противоречат второму началу термодинамики» [17, с. 42]. Напомним, что второй закон термодинамики («второе начало»), сформулированный для закрытых систем, характеризует систему ростом энтропии, стремлением к неупорядоченности, разрушению.

Проявляется этот закон и в открытых системах (например, старение биологических систем). Однако (в отличие от закрытых систем) в открытых системах возможен «вывод энтропии», ее снижение; «подобные системы могут сохранять свой высокий уровень и даже развиваться в сторону увеличения порядка сложности» [17, с. 42], т.е. в них проявляется рассматриваемая в следующем параграфе закономерность *самоорганизации* (хотя Берталанфи этот термин еще не использовал). Именно поэтому важно для системы управления поддерживать хороший обмен информацией со средой.

Целенаправленные, целеустремленные системы. При изучении экономических, организационных объектов важно выделять класс *целенаправленных* или *целеустремленных* систем [91, 92 и др.].

В этом классе, в свою очередь, можно выделить системы, в которых *цели задаются извне* (обычно это имеет место в закрытых системах), и системы, в которых *цели формируются внутри* (что характерно для открытых, *самоорганизующихся* систем).

Закономерности целеобразования в самоорганизующихся системах рассматриваются ниже. Методики, помогающие формировать и анализировать структуры целей, характеризуются в гл. 7.

Классификации систем по сложности. Существует несколько подходов к разделению систем по сложности.

Вначале термины «*большая система*» и «*сложная система*» использовались как синонимы.

Некоторые исследователи связывали сложность с числом элементов.

Пример

Г. Н. Поваров¹ в зависимости от числа элементов, входящих в систему, выделяет четыре их класса: *малые системы* ($10—10^3$ элементов), *сложные* ($10^4—10^6$ элементов), *ультрасложные* ($10^7—10^{30}$ элементов), *суперсистемы* ($10^{30}—10^{200}$ элементов).

У. Р. Эшби считал, что система является *большой* с точки зрения наблюдателя, возможности которого она превосходит в каком-то аспекте, важном для достижения цели.

При этом один и тот же материальный объект в зависимости от цели наблюдателя и средств, имеющихся в его распоряжении, можно отображать или не отображать *большой* системой, и, кроме того, физические размеры объекта не являются критерием отнесения объекта к классу *больших* систем.

Н. П. Бусленко предложил (в силу отсутствия четкого определения отнесения системы к разряду больших и относительной условности этого понятия) связывать понятие «*большая система*» с тем, какую роль играют при изучении системы *комплексные общесистемные вопросы*, что, естественно, зависит от свойств систем и классов решаемых задач.

Этой точки зрения придерживаются и авторы первого в нашей стране учебника по теории больших систем управления **А. А. Денисов** и **Д. Н. Колесников** [5].

Для сфер биологических, экономических, социальных систем иногда понятие *большой системы* связывали в значительной степени с важными для них понятиями «*эмерджентность*», «*открытость*», «*активность элементов*». В результате чего такая система обладает как бы «*свободой воли*», нестабильным и непредсказуемым поведением и другими характеристиками *развивающихся, самоорганизующихся систем*.

В то же время есть и иные точки зрения: поскольку это разные слова в естественном языке, то и использовать их нужно как различные понятия.

При этом некоторые авторы связывают понятие «*большая система*» с величиной системы, количеством элементов (часто относи-

¹ См., например, ссылки на работы ученых, внесших вклад в развитие классификаций и закономерностей систем, в справочнике : учеб. пособие под ред. В. Н. Волковой и А. А. Емельянова [12].

тельно однородных), а понятие «сложная система» — со сложностью отношений, алгоритмов. За основу классификации **Б. С. Флейшман** принимает *сложность поведения системы* [85].

Существуют и более убедительные обоснования различия понятий «большая система» и «сложная система».

В частности, **Ю. И. Черняк** предлагает называть большой системой «такую, которую невозможно исследовать иначе, как по подсистемам», а сложной — «такую систему, которая строится для решения многоцелевой, многоаспектной задачи» [91, с. 22].

Поясняя эти понятия на примерах, **Ю. И. Черняк** подчеркивает, что в случае *большой* системы объект может быть описан как бы на одном языке, т.е. с помощью единого метода моделирования, хотя и по частям, подсистемам (рис. 1.20, а). А *сложная* система отражает объект «с разных сторон в нескольких моделях, каждая из которых имеет свой язык», а для согласования этих моделей нужен особый *метаязык* (рис. 1.20, б).

Понятия большой и сложной системы **Черняк** связывает с понятием «наблюдатель» (на рис. 1.20 «наблюдатели» представлены прямоугольниками): для изучения *большой* системы необходим *один* «наблюдатель» (имеется в виду не число людей, принимающих участие в исследовании или проектировании системы, а относительная однородность их квалификации: например, инженер или экономист), а для понимания *сложной* системы — нужно *несколько* «наблюдателей», принципиально разной квалификации (например, инженер-машиностроитель, программист, специалист по вычислительной технике, экономист, а возможно, и юрист, психолог и т.п.).

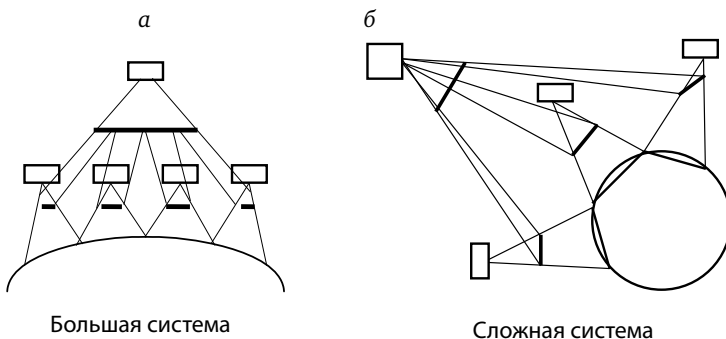


Рис. 1.20

При этом подчеркивается наличие у *сложной* системы «сложной, составной цели» или даже «разных целей» и «одновременно многих структур у одной системы (например, технологической, административной, коммуникационной, функциональной и т.д.)» [92, с. 22].

В последующем **Черняк** уточняет эти определения. В частности, при определении *большой* системы он вводит понятие «*априорно выделенные подсистемы*» [91, с. 28—29], а при определении *сложной* — понятие «*несравнимые аспекты характеристики объекта*», и включает в определение необходимость использования *нескольких языков и разных моделей* [92, с. 32].

Одна из наиболее полных и интересных классификаций *по уровням сложности* предложена **К. Боулдингом** [38, с. 106—124; 108]. Выделенные в ней уровни приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Тип	Уровень сложности	Примеры
Неживые системы	Статические структуры (остовы). Простые динамические структуры с заданным законом поведения. Кибернетические системы с управляемыми циклами обратной связи	Кристаллы. Часовой механизм. Термостат
Живые системы	Открытые системы с самосохраняемой структурой (первая ступень, на которой возможно разделение на живое и неживое). Живые организмы с низкой способностью воспринимать информацию. Живые организмы с более развитой способностью воспринимать информацию, но не обладающие самосознанием. Системы, характеризующиеся самосознанием, мышлением и нетривиальным поведением. Социальные системы. Трансцендентные системы или системы, лежащие в настоящий момент вне нашего познания	Клетки, гомеостат. Растения. Животные. Люди. Социальные организации

В классификации **К. Боулдинга** каждый последующий класс включает в себя предыдущий, характеризуется большим проявлением свойств открытости и стохастичности поведения, более ярко выраженными проявлениями закономерностей иерархичности и историчности (рассматриваемых в параграфе 1.6), хотя это не всегда отмечается, а также более сложными «механизмами» функционирования и развития.

Оценивая классификации с точки зрения их использования при выборе методов моделирования систем, следует отметить, что такие рекомендации (вплоть до выбора математических методов)

имеются в них только для классов относительно низкой сложности (в классификации *К. Боулдинга*, например, — для уровня неживых систем). Для более сложных систем оговаривается, что дать такие рекомендации трудно. Поэтому далее рассматривается классификация, в которой делается попытка связать выбор методов моделирования со всеми классами систем. Основанием этой классификации является степень организованности.

Классификация систем по степени организованности. Разделение систем по степени организованности предложено¹ в продолжение идеи об их разделении на *хорошо организованные* и *плохо организованные*, или *диффузные*². К этим двум классам был добавлен еще класс *развивающихся*, или *самоорганизующихся* систем. Эти классы кратко охарактеризованы в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Класс системы	Краткая характеристика	Возможности применения
1. Хорошо организованная	Представление объекта или процесса принятия решения в виде хорошо организованной системы возможно в тех случаях, когда исследователю удается определить все ее элементы и их взаимосвязи между собой и с целями системы в виде <i>детерминированных</i> (аналитических, графических) зависимостей. В этот класс систем включается большинство моделей физических процессов и технических систем. При представлении объекта этим классом систем задачи выбора <i>целей</i> и определения средств их достижения (элементов, связей) не разделяются. Проблемная ситуация может быть описана в виде <i>выражений, связывающих цель со средствами</i> (т.е. в виде критерия функционирования, критерия или показателя эффективности, целевой функции и т.п.), которые могут быть представлены уравнением, формулой, системой уравнений	Этот класс систем используется в тех случаях, когда может быть предложено детерминированное описание и экспериментально показана правомерность его применения, т.е. экспериментально доказана <i>адекватность</i> модели реальному объекту или процессу. Попытки применить этот класс систем для представления сложных многокомпонентных объектов или многокритериальных задач, которые приходится решать при разработке технических комплексов, совершенствовании управления предприятиями и организациями и т.д., практически безрезультатны. Это требует недопустимо больших затрат времени на формирование модели, и, кроме того, как правило, не удается поставить эксперимент, доказывающий адекватность модели

¹ Волкова, В. Н. Подход к выбору метода формализованного представления систем / В. Н. Волкова, Ф. Е. Темников // Моделирование сложных систем : сб. статей. — М. : МДНТП, 1978. — С. 38—40.

² Налимов, В. В. Влияние идей кибернетики и математической статистики на методологию научных исследований / В. В. Налимов // Методологические проблемы кибернетики : материалы к Всесоюзной конференции. — Т.1. — М., 1970. — С. 50—71.

Класс системы	Краткая характеристика	Возможности применения
2. Плохо организованная, или диффузная	<p>При представлении объекта в виде плохо организованной, или диффузной, системы не ставится задача определить все компоненты и их связи с целями системы. Система характеризуется некоторым набором макропараметров и закономерностями, которые выявляются на основе исследования определенной с помощью некоторых правил достаточно представительной выборки компонентов, отображающих исследуемый объект или процесс.</p> <p>На основе такого, <i>выборочного</i>, исследования получают характеристики или закономерности (статистические, экономические и т.п.), и распространяют эти закономерности на поведение системы в целом с какой-то вероятностью (статистической или в широком смысле использования этого термина)</p>	<p>Отображение объектов в виде диффузных систем находит широкое применение при определении пропускной способности систем разного рода, при определении численности штатов в обслуживающих, например ремонтных цехах предприятия, в обслуживающих учреждениях (для решения подобных задач применяют методы теории массового обслуживания) и т.д.</p> <p>При применении этого класса систем основной проблемой становится доказательство адекватности модели.</p> <p>В случае <i>статистических</i> закономерностей адекватность определяется репрезентативностью выборки. Для экономических закономерностей способы доказательства адекватности не исследованы</p>
3. Самоорганизующаяся, или развивающаяся	<p>Класс <i>самоорганизующихся, или развивающихся</i>, систем характеризуется рядом признаков, особенностей, приближающих их к реальным развивающимся объектам (см. подробнее в табл. 1.6).</p> <p>При исследовании этих особенностей выявлено важное отличие развивающихся систем с активными элементами от закрытых — <i>принципиальная ограниченность их формализованного описания</i>.</p> <p>Эта особенность приводит к необходимости сочетания формальных методов и методов качественного анализа.</p> <p>Поэтому основную идею отображения проектируемого объекта классом самоорганизующихся систем можно сформулировать следующим образом. Разрабатывается знаковая система, с помощью которой фиксируют известные на данный момент компоненты и связи, а затем путем преобразования полученного отображения с помощью выбранных или принятых подходов и методов (<i>структуризации, или декомпозиции; композиции, поиска мер близости на пространстве состояний и т.п.</i>) получают новые, неизвестные ранее компоненты, взаимоотношения, зависимости, которые могут либо</p>	<p>Отображение изучаемого объекта как системы этого класса позволяет исследовать наименее изученные объекты и процессы с большой неопределенностью на начальном этапе постановки задачи. Примерами таких задач являются задачи, возникающие при проектировании сложных технических комплексов, исследовании и разработке систем управления организациями.</p> <p>Большинство из моделей и методик системного анализа основано на представлении объектов в виде самоорганизующихся систем, хотя не всегда это особо оговаривается.</p> <p>При формировании таких моделей меняется привычное представление о моделях, характерное для математического моделирования и прикладной математики. Изменяется представление и о доказательстве адекватности таких моделей. Адекватность модели доказывалась как бы последовательно (по мере ее формирования) путем оценки правильности отражения в каждой последующей модели компонентов и связей, необходимых для достижения поставленных целей.</p>

Окончание табл. 1.5

Класс системы	Краткая характеристика	Возможности применения
	<p>послужить основой для принятия решений, либо подсказать последующие шаги на пути подготовки решения. Таким образом, можно накапливать информацию об объекте, фиксируя при этом все новые компоненты и связи (правила взаимодействия компонентов), и, применяя их, получать отображения последовательных состояний развивающейся системы, постепенно формируя все более адекватную модель реального, изучаемого или создаваемого объекта. При этом информация может поступать от специалистов различных областей знаний и накапливаться во времени по мере ее возникновения (в процессе познания объекта)</p>	<p>При представлении объекта классом самоорганизующихся систем задачи определения целей и выбора средств, как правило, разделяются. При этом задачи определения целей, выбора средств, в свою очередь, могут быть описаны в виде самоорганизующихся систем, т.е. структуры основных направлений развития организации, структуры функциональной части АСУ, структуры обеспечивающей части АСУ, организационной структуры предприятия и т.д. следует также рассматривать как развивающиеся системы</p>

В предложенной классификации систем использованы существовавшие к середине 70-х гг. XX в. термины, но они объединены в единую классификацию, в которой выделенные классы рассматриваются как подходы к отображению объекта или решению задачи и предлагается их характеристика, позволяющая выбирать класс систем для отображения объекта в зависимости от стадии его познания и возможности получения информации о нем.

Проблемным ситуациям с большой начальной неопределенностью в большей мере соответствует представление объекта в виде системы третьего класса. В этом случае моделирование становится как бы своеобразным «механизмом» развития системы. Практическая реализация такого «механизма» связана с необходимостью разработки порядка построения модели процесса принятия решения. Построение модели начинается с применения знаковой системы (языка моделирования), в основе которой лежит один из методов дискретной математики (например, теоретико-множественные представления, математическая логика, математическая лингвистика) или специальных методов системного анализа (например, имитационное динамическое моделирование и т.д.). При моделировании наиболее сложных процессов (например, процессов формирования структур целей, совершенствования организационных структур и т.п.) «механизм» развития (самоорганиза-

ции) может быть реализован в форме соответствующей методики системного анализа. На рассмотренной идее отображения объекта в процессе представления его классом самоорганизующихся систем базируется и метод постепенной формализации модели принятия решений, характеризуемый в гл. 4.

Класс *самоорганизующихся, или развивающихся*, систем характеризуется рядом признаков или особенностей, приближающих их к реальным развивающимся объектам (табл. 1.6).

Перечисленные признаки *самоорганизующихся, или развивающихся*, систем имеют разнообразные проявления, которые иногда можно выделять как самостоятельные особенности. Эти особенности, как правило, обусловлены наличием в системе активных элементов и носят двойственный характер: они являются новыми свойствами, полезными для существования системы, ее приспособлению к изменяющимся условиям среды, но в то же время вызывают неопределенность, затрудняют управление системой.

Мы не приводили подробных поясняющих примеров, поскольку каждый студент может легко обнаружить большинство из названных особенностей на примере своего собственного поведения или поведения своих друзей, коллектива, в котором учится.

Часть из рассмотренных особенностей характерна для диффузных систем (*стохастичность поведения, нестабильность отдельных параметров*), но большинство из них являются специфическими признаками, существенно отличающими этот класс систем от других и затрудняющими их моделирование.

В то же время при создании и организации управления предприятиями часто стремятся представить их, используя теорию автоматического регулирования и управления, разрабатывавшуюся для закрытых, технических систем и существенно искажающую понимание систем с активными элементами, что может нанести вред предприятию, сделать его неживым «механизмом», неспособным адаптироваться к среде и разрабатывать варианты своего развития.

Такая ситуация стала, в частности, наблюдаться в бывшем СССР в 60—70-е гг. XX в., когда слишком жесткие директивы стали сдерживать развитие промышленности.

Таблица 1.6

Особенность	Краткая характеристика
Нестационарность (изменчивость, нестабильность) параметров и стохастичность поведения	Эта особенность легко интерпретируется для любых систем с активными элементами (живых организмов, социальных организаций и т.п.), обуславливая стохастичность их поведения
Уникальность и непредсказуемость поведения системы в конкретных условиях	Эти свойства проявляются у системы, благодаря наличию в ней активных элементов, в результате чего у системы как бы проявляется «свобода воли», но в то же время имеет место и наличие <i>предельных возможностей</i> , определяемых имеющимися ресурсами (элементами, их свойствами) и характерными для определенного типа систем структурными связями
Способность адаптироваться к изменяющимся условиям среды и помехам	Это свойство, казалось бы, является весьма полезным. Однако адаптивность может проявляться не только по отношению к помехам, но и по отношению к управляющим воздействиям, что весьма затрудняет управление системой
Принципиальная неравновесность	При исследовании отличий живых, развивающихся объектов от неживых биолог <i>Эрвин Бауэр</i> высказал гипотезу о том, что живое принципиально находится в неустойчивом, неравновесном состоянии и, более того, использует свою энергию для поддержания себя в неравновесном состоянии (которое и является собственно жизнью). Эта гипотеза находит все большее подтверждение в современных исследованиях. При этом возникают проблемы сохранения устойчивости системы
Способность противостоять энтропийным (разрушающим систему) тенденциям и проявлять негэнтропийные тенденции	Она обусловлена наличием активных элементов, стимулирующих обмен материальными, энергетическими и информационными продуктами со средой и проявляющих собственные «инициативы», активное начало. Благодаря этому в таких системах нарушается закономерность возрастания энтропии (аналогичная второму закону термодинамики, действующему в закрытых системах, так называемому «второму началу»), и даже наблюдаются <i>негэнтропийные</i> тенденции, т.е. собственно <i>самоорганизация, развитие</i> , в том числе «свобода воли»
Способность вырабатывать варианты поведения и изменять свою структуру	Это свойство может обеспечиваться с помощью различных методов, позволяющих формировать разнообразные модели вариантов принятия решений, выходить на новый уровень <i>эквифинальности</i> , сохраняя при этом целостность и основные свойства
Способность и стремление к целеобразованию	В отличие от закрытых (технических) систем, которым цели задаются <i>извне</i> , в системах с активными элементами цели формируются <i>внутри</i> системы (впервые эта особенность применительно к экономическим системам была сформулирована <i>Ю. И. Черняком</i> [92]); целеобразование — основа негэнтропийных процессов в социально-экономических системах
Неоднозначность использования понятий	Например, «цель — средство», «система — подсистема» и т.п. Эта особенность проявляется при формировании структур целей, разработке проектов сложных технических комплексов, автоматизированных систем управления и т.п., когда лица, формирующие структуру системы, назвав какую-то ее часть подсистемой, через некоторое время начинают говорить о ней, как о системе, не добавляя приставки «под», или подцели начинают называть средствами достижения вышестоящих целей. Из-за этого часто возникают затяжные дискуссии, которые легко разрешаются с помощью закономерности коммуникативности, свойства «двуликого Януса» (см. подробнее в параграфе 1.6)

Рассмотренные особенности противоречивы. Они в большинстве случаев являются и положительными и отрицательными, желательными и нежелательными для создаваемой системы. Признаки систем не сразу можно понять и объяснить, выбрать и создать требуемую степень их проявления. Исследованием причин проявления подобных особенностей сложных объектов с активными элементами занимаются философы, психологи, специалисты по теории систем, которые для объяснения этих особенностей предлагают и исследуют *закономерности систем*. Основные изученные к настоящему времени закономерности построения, функционирования и развития систем, объясняющие эти особенности, будут рассмотрены в следующем параграфе.

Проявление противоречивых особенностей развивающихся систем и объяснение их закономерностей на примере реальных объектов необходимо изучать, постоянно контролировать, отражать в моделях и искать методы и средства, позволяющие регулировать степень их проявления.

При этом нужно иметь в виду важное отличие развивающихся систем с активными элементами от закрытых: пытаясь понять принципиальные особенности моделирования таких систем, уже первые исследователи отмечали, что *начиная с некоторого уровня сложности систему легче изготовить и ввести в действие, преобразовать и изменить, чем отобразить формальной моделью*.

По мере накопления опыта исследования и преобразования таких систем это наблюдение подтверждалось, и была осознана их основная особенность — *принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся, самоорганизующихся систем*.

Эта особенность, т.е. необходимость сочетания формальных методов и методов качественного анализа, и положена в основу большинства моделей и методик системного анализа. При формировании таких моделей меняется привычное представление о моделях, характерное для математического моделирования и прикладной математики. Изменяется представление и о доказательстве адекватности таких моделей.

Основную конструктивную идею моделирования при отображении объекта классом самоорганизующихся систем можно сформулировать следующим образом.

Разрабатывается знаковая система, с помощью которой фиксируют известные на данный момент компоненты и связи, а затем путем преобразования уже имеющегося отображения с помощью установленных (принятых) правил (правил *структуризации* или *декомпозиции*; правил *композиции*, поиска *мер близости* на пространстве состояний) получают новые, неизвестные ранее компоненты, взаимоотношения, зависимости, которые могут либо послужить основой для принятия решений, либо подсказать последующие шаги на пути подготовки решения.

Таким образом, можно накапливать информацию об объекте, фиксируя при этом все новые компоненты и связи (правила взаимодействия компонент), и, применяя их, получать отображения последовательных состояний развивающейся системы, постепенно создавая все более адекватную модель реального, изучаемого или создаваемого объекта. При этом информация может поступать от специалистов различных областей знаний и накапливаться во времени по мере ее возникновения (в процессе познания объекта).

Адекватность модели также доказывается как бы последовательно (по мере ее формирования) путем оценки правильности отражения в каждой последующей модели компонентов и связей, необходимых для достижения поставленных целей.

Иными словами, такое моделирование становится как бы своеобразным «механизмом» развития системы. Практическая реализация такого «механизма» связана с необходимостью разработки языка моделирования процесса принятия решения. В основу такого языка (знаковой системы) может быть положен один из методов моделирования систем (например, теоретико-множественные представления, математическая логика, математическая лингвистика, имитационное динамическое моделирование, информационный подход и т.д.), но по мере развития модели методы могут меняться.

При моделировании наиболее сложных процессов (например, процессов целогообразования, совершенствования организационных структур и т.п.) «механизм» развития (самоорганизации) может быть реализован в форме соответствующей методики системного анализа (примеры которых рассматриваются в прикладных главах учебника).

Рассматриваемый класс систем можно разбить на подклассы, выделив *адаптивные* или *самоприспосабливающиеся* системы, само-

обучающиеся системы, самовосстанавливающиеся, самовоспроизводящиеся и т.п. классы систем, в которых в различной степени реализуются рассмотренные выше и еще не изученные (например, для самовоспроизводящихся систем) особенности.

При представлении объекта классом самоорганизующихся систем задачи определения целей и выбора средств, как правило, разделяются. При этом задачи определения целей, в свою очередь, могут быть описаны в виде самоорганизующихся систем, т.е. структура основных направлений развития предприятия, плана, структура функциональной части АСУ и т.д.) должны развиваться (и даже здесь нужно чаще включать «механизм» развития), как и задачи выбора средств, разработки структуры обеспечивающей части АСУ, организационной структуры предприятия и т.д.

Большинство из рассматриваемых в последующих главах примеров методов, моделей и методик системного анализа основано на представлении объектов в виде самоорганизующихся систем, хотя не всегда это будет особо оговариваться.

Рассмотренные классы систем удобно использовать как подходы на начальном этапе моделирования любой задачи. Этим классам поставлены в соответствие методы формализованного представления систем (гл. 2), и таким образом, определив класс системы, можно дать рекомендации по выбору метода, который позволит более адекватно ее отобразить.

1.6. Закономерности систем

Закономерности функционирования и развития систем (в более краткой формулировке — *закономерности систем*) — общесистемные закономерности, характеризующие принципиальные особенности построения, функционирования и развития сложных систем. Такие закономерности *Л. фон Берталанфи* вначале называл системными параметрами, а *А. Холл* [89] — макроскопическими свойствами или закономерностями.

Закономерности систем можно условно разделить на четыре группы (рис. 1.21).



Рис. 1.21

В процессе изучения особенностей функционирования и развития сложных открытых систем с активными элементами был выявлен ряд закономерностей, помогающих глубже понять диалектику части и целого в системе, чтобы учитывать их при принятии решений. Рассмотрим основные из этих закономерностей.

Целостность. Закономерность *целостности* (*эмерджентность*) проявляется в системе в появлении (*emerge* — появляться) у нее новых свойств, отсутствующих у элементов. **Л. фон Берталанфи** считал эмерджентность основной системной проблемой [17].

Проявление этой закономерности легко пояснить на примерах поведения популяций, социальных систем и даже технических объектов (свойства станка отличаются от свойств деталей, из которых он собран).

Закономерности взаимодействия части и целого

Для того чтобы глубже понять закономерность целостности, необходимо прежде всего учитывать две ее стороны:

- 1) свойства системы (целого) Q_s не являются простой суммой свойств составляющих ее элементов (частей) q_i :

$$Q_s \neq \sum_{i=1}^n q_i; \quad (1.7)$$

- 2) свойства системы (целого) зависят от свойств составляющих ее элементов (частей):

$$Q_s = f(q_i). \quad (1.8)$$

Кроме двух основных сторон, следует иметь в виду еще одну:

- 3) объединенные в систему элементы, как правило, утрачивают часть своих свойств, присущих им вне системы, т.е. система как бы подавляет их; но, с другой стороны, элементы, попав в систему, могут приобрести новые свойства.

Пример

Из датчиков, транзисторов, резисторов и других деталей может быть собрана система управления станком. При этом система, полученная из деталей-элементов, проявляет новые свойства по сравнению со свойствами каждого из отдельно взятых элементов, а элементы утрачивают при объединении в систему часть своих свойств. Например, транзистор может использоваться в различных режимах работы в разных устройствах — радиоприемниках, телевизорах и т.п., а став элементом системы автоматического управления станком, он утратил эти возможности и сохранил только свойство работать в необходимом для этой схемы режиме. Аналогично производственная система в рабочее время подавляет у своих элементов-рабочих вокальные, хореографические и некоторые другие способности и использует только те свойства, которые нужны для осуществления процесса производства. Еще в большей степени подавляет проявление способностей человека конвейер.

Таким образом, первая сторона закономерности целостности характеризует изменение взаимоотношений системы как целого

со средой (по сравнению с взаимодействием с ней отдельно взятых элементов) и утрату элементами некоторых свойств, когда они становятся элементами системы. Эти изменения бывают настолько разительны, что может показаться, будто свойства системы вообще не зависят от свойств элементов. Поэтому необходимо обращать внимание на вторую сторону закономерности целостности.

Пример

Если транзистор (или другой элемент) вышел из строя или если поставлен датчик с другой чувствительностью, то либо система управления станком вообще перестанет существовать и выполнять свои функции, либо, по крайней мере, изменятся ее характеристики (во втором случае). Аналогично замена элементов в организационной структуре системы управления предприятием может существенно повлиять на качество его функционирования.

Свойство целостности связано с целью, для выполнения которой создается система. При этом, если цель не задана в явном виде, а у отображаемого объекта наблюдаются целостные свойства, можно попытаться определить цель или выражение, связывающее цель со средствами ее достижения (целевую функцию, системообразующий критерий), путем изучения причин появления закономерности целостности.

В приведенном выше примере целостность определяется конструкцией системы управления станком, технологической схемой взаимодействия деталей и узлов. Но в подобных примерах и цель несложно сформулировать. А вот в организационных системах не всегда сразу легко понять причину возникновения целостности, и требуется проводить анализ, позволяющий выявить, что привело к возникновению целостных, системных свойств.

Исследованию причин возникновения целостных свойств в теории систем уделяется большое внимание. Однако в ряде реальных ситуаций не удается выявить факторы, обуславливающие возникновение целостности. Тогда системные представления становятся средством исследования. Благодаря тому, что отображение объекта в виде системы подразумевает в силу закономерности целостности качественные изменения при объединении элементов в систему и при переходе от системы к элементам (и эти изменения происхо-

дят на любом уровне расчленения системы), можно хотя бы структурой, но представить объект или процесс, для изучения которого не может быть сразу сформирована математическая модель, требующая выявления точных, детерминированных взаимоотношений между элементами системы.

Иными словами, с помощью понятий *система* и *структура* можно отображать проблемные ситуации с неопределенностью, при этом как бы разделяют «большую» неопределенность на более «мелкие», которые в ряде случаев легче поддаются изучению, что помогает выявить причины качественных изменений при формировании целого из частей. Расчленяя систему, можно анализировать причины возникновения целостности на основе установления причинно-следственных связей различной природы между частями, частью и целым, выявления причинно-следственной обусловленности целого средой.

Наряду с изучением причин возникновения целостности можно получать полезные для практики результаты путем сравнительной оценки степени целостности систем (и их структур) при неизвестных причинах ее возникновения. В связи с этим обратимся к закономерности, двойственной по отношению к закономерности целостности. Ее называют *физической аддитивностью, независимостью, суммативностью, обособленностью*.

Свойство физической аддитивности проявляется у системы, как бы распавшейся на независимые элементы; тогда становится справедливым

$$Q_s = \sum_{i=1}^n q_i. \quad (1.9)$$

В этом крайнем случае и говорить-то о системе нельзя. Но, к сожалению, на практике существует опасность искусственного разложения системы на независимые элементы, даже когда при внешнем графическом изображении они кажутся элементами системы.

Строго говоря, любая развивающаяся система находится, как правило, между состоянием абсолютной целостности и абсолютной аддитивности, и выделяемое состояние системы (ее «срез») можно охарактеризовать степенью проявления одного из этих свойств или тенденций к его нарастанию или уменьшению.

Для оценки этих тенденций **А. Холл** [38, 89] ввел две сопряженные закономерности, которые он назвал *прогрессирующей факторизацией* — стремлением системы к состоянию со всё более независимыми элементами, и *прогрессирующей систематизацией* — стремлением системы к уменьшению самостоятельности элементов, т.е. к большей целостности.

В последующем **А. А. Денисовым** были введены сравнительные количественные оценки степени целостности α и коэффициента использования свойств элементов β в целом, т.е. свободы элементов в проявлении своих свойств (табл. 1.7). Возможность получения таких оценок на основе информационного подхода к анализу систем показана в гл. 3, а их применение для сравнительного анализа вариантов организационных структур предприятия — в гл. 8.

Таблица 1.7

Закономерности взаимодействия части и целого	Степень целостности α	Коэффициент свободы элементов β
Целостность (эмерджентность) $Q_s \neq \sum_{i=1}^n q_i$	1	0
Прогрессирующая систематизация	$\alpha > \beta$	
Прогрессирующая факторизация	$\alpha < \beta$	
Аддитивность (суммативность) $Q_s = \sum_{i=1}^n q_i$	0	1

Интегративность. Этот термин часто употребляется как синоним целостности. Однако некоторые исследователи (например, **В. Г. Афанасьев** [15]) выделяют эту закономерность как самостоятельную, стремясь подчеркнуть интерес не к внешним факторам проявления целостности, а к более глубоким причинам, обуславливающим возникновение этого свойства, к факторам, обеспечивающим сохранение целостности.

Интегративными называют системообразующие, системосохраняющие факторы, в числе которых важную роль играют *неоднородность и противоречивость* элементов (исследуемые большинством философов), с одной стороны, и *стремление их вступать в коалиции* (на что обратил внимание **А. А. Богданов** [18] и исследовали **А. А. Малиновский** [75]) и **М. Месарович** [8, 54]), с другой стороны.

В связи с этим отметим, что носителями целостного знания о мире являются философские концепции, опираясь на которые можно дополнить закономерность интегративности рекомендациями, основанными на закономерностях развития систем, базирующихся на законах диалектики. Обратим также внимание на тот факт, что для сложных развивающихся систем в принципе невозможно разработать полный перечень рекомендаций по созданию и сохранению целостности, и что проблема выбора и сохранения интегративных факторов должна решаться в конкретных приложениях на моделях, сочетающих средства качественного и количественного анализа.

Закономерности иерархической упорядоченности систем

Эта группа закономерностей тесно связана с закономерностью целостности, с расчленением целого на части. Однако она характеризует и взаимодействие системы с ее окружением — со средой (значимой или существенной для системы), надсистемой, подчиненными системами. Поэтому рассматриваемые ниже закономерности выделены в самостоятельный подраздел.

Коммуникативность. Эта закономерность составляет основу определения системы **В. Н. Садовским** и **Э. Г. Юдиным** [38], приведенного в параграфе 1.1, из которого следует, что система не изолирована от других систем, она связана множеством коммуникаций со средой, представляющей собой, в свою очередь, сложное и неоднородное образование, содержащее *надсистему* (систему более высокого порядка, задающую требования и ограничения исследуемой системе), *подсистемы* (нижележащие, подведомственные системы) и *системы одного уровня с рассматриваемой*.

Такое сложное единство со средой названо *закономерностью коммуникативности*, которая, в свою очередь, легко помогает перейти к иерархичности как закономерности построения всего мира и любой выделенной из него системы.

Иерархичность. Закономерность *иерархичности*, или *иерархической упорядоченности*, была в числе первых закономерностей теории систем, которые выделил и исследовал **Л. фон Берталанфи** [16, 17]. Он, в частности, показал связь иерархической упорядоченности мира с явлениями дифференциации и негэнтропийными тенденциями, т.е. с закономерностями самоорганизации, развития открытых систем, рассматриваемыми ниже. На выделении уровней

иерархии природы базируются некоторые классификации систем и, в частности, рассмотренная классификация *К. Боулдинга*.

На необходимость учитывать не только внешнюю структурную сторону иерархии, но и функциональные взаимоотношения между уровнями обратил внимание академик *В. А. Энгельгардт*¹. На примерах биологических организаций он показал, что более высокий иерархический уровень оказывает направляющее воздействие на нижележащий уровень, подчиненный ему, и это влияние проявляется в том, что подчиненные члены иерархии приобретают новые свойства, отсутствовавшие у них в изолированном состоянии (подтверждение положения о влиянии целого на элементы, приведенного выше), а в результате появления этих свойств формируется новый, другой «облик целого» (влияние свойств элементов на целое). Возникшее таким образом новое целое приобретает способность осуществлять новые функции, в чем и состоит цель образования иерархий. Иными словами, речь идет о закономерности *целостности* (*эмерджентности*) и ее проявлении на каждом уровне иерархии.

Эти особенности иерархических структур систем (или, как принято иногда говорить, иерархических систем) наблюдаются не только на биологическом уровне развития Вселенной, но и в социальных организациях, при управлении предприятием, объединением, государством, при представлении замысла проектов сложных технических комплексов и т.п.

Исследование иерархической упорядоченности в организационных системах с использованием информационного подхода (см. гл. 3) позволили сделать вывод о том, что между уровнями и элементами иерархических систем существуют более сложные взаимосвязи, чем это может быть отражено в графическом изображении иерархической структуры. В частности, если даже между элементами одного уровня иерархии нет явных связей («горизонтальных»), то они все равно взаимосвязаны через вышестоящий уровень.

Например, в производственной и организационной структурах предприятия от вышестоящего уровня зависит, какой из этих элементов будет выбран для поощрения (при предпочтении одних исключается поощрение других), или, напротив, какому из элементов будет поручена непрестижная или невыгодная работа (опять-таки, это освобождает от нее других).

¹ *Энгельгардт, В. А.* О некоторых атрибутах жизни: иерархия, интеграция, узнавание / *В. А. Энгельгардт* // Вопросы философии. — 1976. — № 7. — С. 65—81.

Таким образом, иерархические представления помогают лучше понять и исследовать феномен сложности.

Выделим основные особенности иерархической упорядоченности с точки зрения полезности их использования в качестве моделей системного анализа.

1. Закономерность коммуникативности проявляется между уровнями иерархии исследуемой системы, и поэтому каждый уровень иерархической упорядоченности имеет сложные взаимоотношения с вышестоящим и нижележащим уровнями.

По метафорической формулировке, используемой *А. Кёстлером*¹, каждый уровень иерархии обладает свойством «двуликого Януса»: «лик», направленный в сторону нижележащего уровня, имеет характер автономного целого (системы), а «лик», направленный к узлу (вершине) вышестоящего уровня, проявляет свойства зависимой части (элемента вышестоящей системы, каковой является для него составляющая вышестоящего уровня, которой он подчинен).

Эта конкретизация закономерности иерархичности объясняет неоднозначность использования в сложных организационных системах понятий «система» и «подсистема», «цель» и «средство» (элемент каждого уровня иерархической структуры целей выступает как цель по отношению к нижележащим и как «подцель», а начиная с некоторого уровня, и как «средство» по отношению к вышестоящей цели), что часто наблюдается, как отмечалось выше, в реальных условиях и приводит к некорректным терминологическим спорам.

2. Закономерность целостности (т.е. качественные изменения свойств компонентов более высокого уровня по сравнению с объединяемыми компонентами нижележащего) проявляется в ней на каждом уровне иерархии.

При этом объединение элементов в каждом узле иерархической структуры приводит не только к появлению новых свойств у узла и утрате объединяемыми компонентами свободы проявления некоторых своих свойств, но и к тому, что каждый подчиненный член иерархии приобретает новые свойства, отсутствовавшие у него в изолированном состоянии.

¹ Koestler, A. Beyond Atomism and Holism / A. Koestler // Beyond Reductionism. — London, 1969. — 197 p.

Благодаря этой особенности с помощью иерархических представлений можно исследовать системы и проблемные ситуации с неопределенностью.

3. Одну и ту же систему можно представить разными иерархическими структурами.

Причем это зависит от: а) назначения системы, цели (разные иерархические структуры могут соответствовать разным формулировкам цели); б) методики структуризации; в) предыстории развития лиц, формирующих структуру (при одной и той же цели, если поручить формирование структуры разным лицам, то они в зависимости от их предшествующего опыта, квалификации и знания объекта могут получить разные структуры, т.е. по-разному раскрыть неопределенность проблемной ситуации).

4. Благодаря рассмотренным особенностям, иерархические представления являются средством исследования систем с неопределенностью: происходит как бы расчленение «большой» неопределенности на более «мелкие», лучше поддающиеся исследованию.

При этом даже если эти «мелкие неопределенности» не удастся полностью раскрыть и объяснить, то все же иерархическое упорядочение частично снимает общую неопределенность, обеспечивает, по крайней мере, управляемый контроль принятия решения, для которого используется иерархическое представление.

В связи со сказанным выше на этапе структуризации системы (или ее цели) можно (и нужно) ставить задачу выбора варианта структуры для дальнейшего исследования или проектирования системы, организации управления технологическим процессом, предприятием, проектом и т.д. Для того чтобы помочь в решении подобных задач, разрабатывают методики структуризации, методы оценки и сравнительного анализа структур, примеры которых будут рассмотрены в последующих главах.

Проблема осуществимости систем является наименее исследованной. Рассмотрим некоторые из закономерностей, помогающие понять эту проблему и учитывать ее при определении принципов проектирования и организации функционирования систем управления.

Закономерности осуществимости систем

Эквифинальность. Эта закономерность характеризует как бы предельные возможности системы. *Л. фон Берталанфи*, предложивший этот термин, определил *эквифинальность* как «способность в отличие от состояния равновесия в закрытых системах, полностью детерминированных начальными условиями... достигать не зависящего от времени состояния, которое не зависит от ее начальных условий и определяется исключительно параметрами системы» [17].

Согласно определению Берталанфи можно говорить об уровне развития крокодила, обезьяны и характеризовать их предельными возможностями, предельно возможным состоянием, к которому может стремиться тот или иной вид, а соответственно и стремлением к этому предельному состоянию из любых начальных условий, даже если индивид появился на свет раньше положенного времени или провел, подобно Маугли, некоторый начальный период жизни в несвойственной ему среде.

Живые организмы по мере эволюции усложняются, и в разные периоды их жизни можно наблюдать различные состояния эквифинальности. В наибольшей мере это проявляется у человека, что является предметом изучения многих исследователей — биологов, философов, инженеров, которые выделяют примерно следующие уровни (называемые по-разному): *материальный, эмоциональный, семейно-общественный, социально-общественный, интеллектуальный* и т.п.

Потребность во введении понятия эквифинальности возникает, начиная с некоторого уровня сложности систем. Берталанфи не получил ответы на следующие вопросы. Какие именно параметры в конкретных условиях обеспечивают эквифинальность? Как проявляется закономерность эквифинальности в сообществах, в организационных системах? Однако закономерность заставляет задуматься о предельных возможностях создаваемых предприятий, организационных систем управления отраслями, регионами, государством.

В этой связи особый интерес представляют исследования возможных уровней существования социально-общественных систем, что важно учитывать при определении целей системы (см. параграф 5.1).

Закон «необходимого разнообразия». На необходимость учитывать предельную осуществимость системы при ее создании впервые в теории систем обратил внимание *У. Р. Эшби*. Он сформули-

ровал закономерность, известную под названием закон «необходимого разнообразия» [103].

Для задач принятия решений наиболее важным является одно из следствий этой закономерности, которое можно упрощенно пояснить на следующем примере.

Пример

Когда исследователь (лицо, принимающее решение, «наблюдатель») N сталкивается с проблемой D , решение которой для него неочевидно, то имеет место некоторое разнообразие возможных решений V_D . Этому разнообразию противостоит разнообразие мыслей исследователя («наблюдателя») V_N . Задача исследователя заключается в том, чтобы свести разнообразие $(V_D - V_N)$ к минимуму, в идеале $(V_D - V_N) \rightarrow 0$.

Эшби доказал теорему, на основе которой сформулировал следующий вывод: «Если для V_D дано постоянное значение, то $(V_D - V_N)$ может быть уменьшено лишь за счет соответствующего роста V_N ... Говоря более образно, только разнообразие в N может уменьшить разнообразие, создаваемое в D ; только разнообразие может уничтожить разнообразие».

Сказанное означает, что, создавая систему, способную справиться с решением проблемы, обладающей определенным, известным разнообразием (сложностью), нужно обеспечить, чтобы система имела еще большее разнообразие (знания методов решения), чем разнообразие решаемой проблемы, или была способна создать в себе это разнообразие (владела бы методологией, могла разработать методику, предложить новые методы решения проблемы).

Применительно к системам управления закон «необходимого разнообразия» может быть сформулирован следующим образом: *разнообразие управляющей системы (системы управления) V_{cy} должно быть больше (или по крайней мере равно) разнообразию объекта управления V_{oy} :*

$$V_{cy} \geq V_{oy}. \quad (1.10)$$

Использование этого закона при разработке и совершенствовании систем управления предприятиями и организациями помогает увидеть причины проявляющихся в них недостатков и найти пути повышения эффективности управления.

Пример

В. И. Терещенко¹ предложил следующие пути совершенствования управления при усложнении производственных процессов:

■ увеличение V_{cy} , что может быть достигнуто путем роста численности аппарата управления, повышения его квалификации, механизации и автоматизации управленческих работ (этот путь был предложен в 60-е гг. XX в. и исчерпан);

■ уменьшение V_{oy} за счет установления более четких и определенных правил поведения компонентов системы: унификации, стандартизации, типизации, введения поточного производства, сокращения номенклатуры деталей, узлов, технологической оснастки и т.п.

Это и пытались делать в 70-е гг. XX в., вплоть до типизации разработки сложных технических комплексов, АСУ и организационных структур предприятий, что входит в противоречие с характеристиками, обеспечивающими существование объекта как развивающейся системы, — такими, как уникальность, необходимость развития активного начала, негэнтропийных тенденций для реализации адаптивности, способности приспосабливаться к изменяющимся условиям, разрабатывая варианты решения и даже преобразуя при необходимости структуру и т.д.;

■ снижение уровня требований к управлению, т.е. сокращение числа постоянно контролируемых и регулируемых параметров управляемой системы.

Такой путь можно реализовать с помощью ограничения контролируемых параметров, что далеко не всегда желательно с точки зрения качества выпускаемой продукции и производственной дисциплины, если наряду с принципом контроля не предусмотрены иные методы управления;

■ самоорганизация объектов управления.

Создание саморегулирующихся подразделений: цехов, участков с замкнутым циклом производства, с относительной самостоятельностью и ограничением вмешательства централизованных органов управления предприятием и т.п.

К середине 70-х гг. XX в. первые три пути были исчерпаны и основное развитие получил четвертый путь на основе более широкой его

¹ Автоматизированные системы управления предприятиями и объединениями / под ред. В. И. Терещенко. — Киев : Техніка, 1978. — С. 295.

трактовки — внедрение хозрасчета, самофинансирования, самоокупаемости и т.п. Однако привычка к жесткому контролю и директивным указаниям не позволила осуществить намеченные реформы: появились регламентируемые формы хозрасчета, нормативные документы, сдерживающие развитие самостоятельности предприятий и реализацию принятых в тот период принципов управления (подробнее о реформах 70-х гг. XX в. и применении при их реализации закономерностей теории систем см. в книге по истории теории систем и системного анализа [23] и на сайте www.tsisa.ru).

Закономерность потенциальной эффективности. Развивая идею **В. А. Котельникова** о потенциальной помехоустойчивости систем, **Б. С. Флейшман** [85] связал сложность структуры системы со сложностью ее поведения; предложил количественные выражения предельных законов надежности, помехоустойчивости, управляемости и других качеств систем; показал, что на их основе можно получить количественные оценки осуществимости систем с точки зрения того или иного качества — предельные оценки жизнеспособности и *потенциальной эффективности* сложных систем.

Эти оценки исследовались применительно к техническим и экологическим системам и пока еще мало используются для производственных систем. Потребность в таких оценках на практике ощущается все более остро. Например, нужно определять, когда будут исчерпаны потенциальные возможности существующей организационной структуры и возникнет необходимость в ее преобразовании, когда устареют и потребуют обновления производственные комплексы, оборудование и т.п. Возможности применения закономерности потенциальной эффективности к задаче определения «порога осуществимости» организационной системы исследовал **В. И. Самофалов** (см. учебник по системному анализу в экономике и организации производства под ред. **С. А. Валуева** и **В. Н. Волковой** [10]).

Использование закономерностей построения, функционирования и развития систем помогает уточнить представление об изучаемом или проектируемом объекте, позволяет разрабатывать рекомендации по совершенствованию организационных систем, методик системного анализа.

В последнее время при исследовании, моделировании и создании систем все больше начинает осознаваться необхо-

**Закономерности развития
систем**

димось учета принципов их изменения во времени, для понимания которых могут помочь закономерности рассматриваемой группы.

Историчность. Казалось бы очевидно, что любая система не может быть неизменной, что она не только возникает, функционирует, развивается, но и погибает, и каждый легко может привести примеры становления, расцвета, упадка (старения) и даже смерти (гибели) биологических и социальных систем. Все же для конкретных случаев развития организационных систем и сложных технических комплексов трудно определить периоды их расцвета и старения. Не всегда руководители организаций и конструкторы технических систем учитывают, что время является непременной характеристикой системы, что каждая система подчиняется закономерности *историчности*, и что эта закономерность — такая же объективная, как целостность, иерархическая упорядоченность и др.

Поэтому в практике проектирования и управления на необходимость учета закономерности историчности начинают обращать все больше внимания. При этом закономерность историчности можно учитывать, не только пассивно фиксируя старение, но и использовать для предупреждения смерти системы, разрабатывая механизмы реконструкции, реорганизации системы для сохранения ее в новом качестве.

Пример

При разработке автоматизированных систем управления (АСУ) рекомендовалось примерно в середине периода проектирования предшествующей очереди развития (АСУ 1-й, 2-й очереди и т.д.) начинать концептуальное проектирование и формирование технического задания

(ТЗ) на проектирование последующей очереди АСУ (что условно показано на рис. 1.22).

Аналогичная процедура обновления Комплексной программы (прогноза) и Основных направлений развития страны в середине каждой пятилетки была предусмотрена в СССР в период реформ 70-х гг. XX в.

При создании сложных технических комплексов рекомендуется уже в процессе проектирования корректировать технический проект с учетом старения идеи, положенной в его основу,

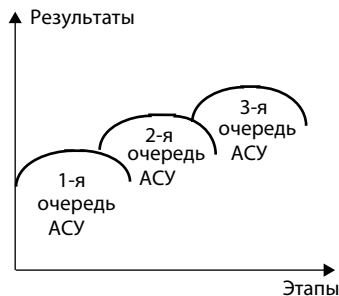


Рис. 1.22

рассматривать не только вопросы создания и обеспечения развития системы, но и вопрос о том, когда и как ее нужно уничтожить (возможно, предусмотрев «механизм» ее уничтожения или самоликвидации) и при создании технической документации, сопровождающей систему, включать в нее не только вопросы эксплуатации системы, но и срок жизни, ликвидацию. При регистрации предприятий требуется, чтобы в уставе был предусмотрен этап ликвидации предприятия.

Закономерность самоорганизации. В числе основных особенностей самоорганизующихся систем с активными элементами в параграфе 1.5 были названы способность противостоять энтропийным тенденциям, способность адаптироваться к изменяющимся условиям, преобразуя при необходимости свою структуру и т.п. В основе этих внешне проявляющихся способностей лежит более глубокая закономерность, базирующаяся на сочетании в любой реальной развивающейся системе двух противоречивых тенденций: с одной стороны, для всех явлений, в том числе и для развивающихся, открытых систем, справедлив второй закон термодинамики («второе начало»), т.е. стремление к *возрастанию энтропии*; а с другой стороны, наблюдаются *негэнтропийные* тенденции, лежащие в основе эволюции. *Дж. ван Гиг* называет эту особенность развивающихся систем «дуализмом» [26].

Обе тенденции присущи всем уровням развития материи. Однако на уровнях неживой природы негэнтропийные тенденции слабы и их редко удается измерить, а по мере развития материи, особенно начиная с биологического уровня, противодействие «второму началу» становится явно наблюдаемым (что и послужило для *Берталанфи* основанием для выделения особого класса *открытых* систем, обладающих специфическими закономерностями, и в частности, наличием негэнтропийных тенденций, противостоящих «второму началу»). А у человека и в организационных системах негэнтропийные тенденции не только наблюдаются, но иногда и измеряются (например, по соответствующим тестам можно определить природную любознательность или «школьный потенциал» личности, являющийся основой ее активности в познавательной и преобразующей деятельности).

При моделировании негэнтропийных тенденций в технических системах *Я. З. Цыпкин* ввел понятие *адаптивности* и разработал теорию адаптивных систем. Первоначально этот термин был пере-

несен и на организационные системы. Однако удобнее оказалось для таких систем ввести термин «*повышение организованности, порядка*» и назвать закономерность проявления негэнтропийных тенденций закономерностью *самоорганизации*¹.

Исследованием процессов самоорганизации занимаются различные научные направления — от химии и биологии до кибернетики и теории систем. При изучении этой закономерности большой вклад внес **А. Г. Ивахненко**, разработавший теорию *самоорганизации* применительно к техническим системам.

Важные результаты в понимании закономерности самоорганизации получены в исследованиях, которые относят к развивающейся науке, называемой *синергетикой*.

Термин «синергетика» был введен немецким физиком **Г. Хакеном** при проведении исследований кооперативных процессов («синергизм») в лазерах и неравновесных фазовых переходах. Этим термином Хакен предложил назвать междисциплинарное направление для объединения аналогичных явлений в других физических средах.

В этом смысле термин «синергетика» больше соответствует закономерности *целостности*, понятию *синергизма* в биологии. В то же время термин «синергизм» не отражает появления у целого новых свойств, поэтому в теории систем принят термин «эмерджентность» (от *emerge* — появляться).

Бельгийский ученый **И. Р. Пригожин**, также назвавший свою науку о самоорганизации *синергетикой*, пришел к интересным идеям из анализа специфических химических реакций, которые приводят к образованию нестабильной, *диссипативной* (распадающейся) пространственной структуры², образующейся за счет диссипации (рассеяния) энергии, использованной системой, и способной воспринимать новую энергию из среды, благодаря чему может изменяться прежняя структура и система может переходить в новое состояние. Простейшим аналогом подобных структур, исследуемых термодинамикой, является эффект Бенара (структура, возникающая в момент начала кипения).

¹ Этот термин не вполне точно отражает «дуализм» энтропийно-негэнтропийных тенденций в развивающихся системах. Возможно, в дальнейшем для этой закономерности будет найдено более точное название.

² За исследования по термодинамике диссипативных структур **И. Р. Пригожину** была присуждена Нобелевская премия.

В дальнейшем **И. Р. Пригожин** и его последователи показали, что такие явления возникают в нелинейных неравновесных системах под воздействием флуктуаций в состояниях, когда система удалена от точки термодинамического равновесия. Точки, в которых возможен переход системы в новое состояние, называют точками *бифуркации* (раздвоения, разветвления), поскольку в них возникает выбор (зависящий от случайных факторов), в какое из новых состояний перейти системе.

Синергетика **И. Р. Пригожина** является основой закономерности самоорганизации.

Однако понятия, введенные в ней применительно к химическим процессам, пока еще недостаточно хорошо интерпретированы для социально-экономических систем, и поэтому в теории систем для объяснения закономерности, лежащей в основе развития системы, предпочтение отдано термину «закономерность самоорганизации».

Первоначально, опираясь на **Берталанфи**, исследователи объясняли способность системы противостоять энтропийным тенденциям ее *открытостью*, т.е. взаимодействием системы со средой.

В частности, **Л. А. Растрин** начинает объяснение этой закономерности в своей популярной брошюре так: «Всякая система, изолированная от других систем, может только разрушаться (энтропийные тенденции. — Авт.)...»

Но в дальнейшем появились исследования, опирающиеся на активное начало компонентов системы.

Поиском «гена» развивающейся информационной системы занимался **Ф. Е. Темников** (см. гл. 4); закономерности *системогенетики* исследует **А. И. Субетто** [77]; в рассматриваемой в гл. 5 модели «пространства инициирования целей» (**В. Н. Сагатовского**, **Ф. И. Перегудова** и др. [9, 66]), наряду с взаимодействием со сложной средой, учитываются инициативы собственно системы, обусловленные самодвижением целостности, активностью элементов системы.

В сложных развивающихся системах закономерность самоорганизации проявляется в том, что в зависимости от преобладания *энтропийных* или *негэнтропийных* тенденций система любого уровня может либо развиваться в направлении более высокого уровня эквифинальности и переходить на него, либо, напротив,

может происходить энтропийный процесс упадка и перехода системы на более низкий уровень существования.

Исследование глубинных причин самоорганизации, *самодвижения целостности* показывает, что основой рассматриваемой закономерности является диалектика части и целого в системе. Оценка степени целостности помогает найти точку начала снижения эффективности функционирования системы, в которой целесообразен переход на новый уровень эквифинальности.

Стремясь понять и лучше отразить в модели процесс развития, становления системы, полезно дополнить рассматриваемую группу закономерностей закономерностями, базирующимися на законах диалектики.

Например, в учебнике *А. А. Денисова и Д. Н. Колесникова* [5] предлагается учитывать при моделировании сложных развивающихся систем закономерности диалектики, такие как изменчивость, единство противоположностей, переход количественных изменений в коренные качественные. Эти закономерности использованы при разработке формализованного аппарата информационного анализа систем в гл. 3.

1.7. Закономерности целеобразования

Закономерности возникновения и формулирования целей

Обобщение результатов исследований процессов целеобразования, проводимых философами, психологами, кибернетиками, и наблюдение процессов обоснования и структуризации целей в конкретных условиях позволили сформулировать некоторые общие принципы, закономерности, которые полезно использовать на практике.

Зависимость представления о цели и ее формулировки от стадии познания объекта (процесса) и времени¹. Анализ определений понятия «цель» позволяет сделать вывод о том, что, формулируя цель, нужно стремиться отразить в ее формулировке или в способе представления основное противоречие, заключающееся в том, что, с одной стороны, цель должна играть активную

¹ Две первые закономерности сформулированы *Л. А. Растргиным* [30, 70].

роль в познании, в управлении, а с другой — быть реалистичной, что позволит направить с ее помощью деятельность на получение определенного полезного результата. При этом формулировка цели и представление о цели зависит от стадии познания объекта, и по мере развития представления об объекте формулировку цели можно и нужно уточнять.

При формулировании и пересмотре цели коллектив, выполняющий эту работу, должен определить, в каком смысле на данном этапе рассмотрения объекта и развития представлений о нем употребляется понятие «цель», к какой точке условной шкалы «идеальные устремления в будущее — реальный конечный результат деятельности» (см. рис. 1.4) ближе принимаемая формулировка цели. По мере углубления исследований и познания объекта цель может сдвигаться в одну или другую сторону шкалы и соответственно должна изменяться ее формулировка.

Зависимость цели от внешних и внутренних факторов. При анализе причин возникновения и формулирования целей нужно учитывать, что на цель влияют как внешние по отношению к системе факторы (внешние требования, потребности, мотивы, программы), так и внутренние (потребности, мотивы, программы самой системы и ее элементов, исполнителей цели). При этом последние являются такими же объективно воздействующими на процесс целеобразования факторами, как и внешние (особенно при использовании в системах управления понятия цели как средства побуждения к действию).

Цели могут возникать на основе взаимодействия противоречий или коалиций как между внешними и внутренними факторами, так и между внутренними факторами, существующими и вновь возникающими в находящейся в постоянном самодвижении целостности.

Эта закономерность характеризует очень важное отличие открытых, развивающихся систем с активными элементами от технических систем, отображаемых обычно закрытыми моделями. Теория управления последними оперирует обычно понятием «цель» как внешним по отношению к системе, а в открытых, развивающихся системах цели не задаются извне, а формируются внутри системы¹ на основе рассматриваемой закономерности.

¹ Впервые эту мысль высказал Ю. И. Черняк [91, 92], и она вначале вызвала резкое непонимание, но впоследствии была учтена при проведении реформ в 70-х гг. XX в.

Возможность (и необходимость) сведения задачи формулирования обобщающей (общей, глобальной) цели к задаче ее структуризации¹. Анализ процессов формулирования обобщенной (глобальной) цели в сложных системах показывает, что эта цель первоначально возникает в сознании руководителя или иного лица, принимающего решение, не как единичное понятие, а как некоторая достаточно «размытая» область.

Исследования психологов показывают, что цель на любом уровне управления вначале возникает в виде некоторого «образа» или «области». В наибольшей степени это проявляется на уровне глобальной цели. При этом достичь одинакового понимания этой «области» цели всеми ЛПР, по-видимому, принципиально невозможно без ее детализации в виде неупорядоченного или упорядоченного (в структуре) набора одновременно возникающих взаимосвязанных подцелей, которые делают ее более конкретной и понятной для всех участников процесса целеобразования.

Сказанное позволило сделать вывод о том, что задача формулирования обобщающей цели в сложных системах не только может, но и должна сводиться к задаче структуризации или декомпозиции цели. Структура цели, формируемая коллективно, помогает достичь одинакового понимания общей цели всеми ЛПР и исполнителями. И это подтвердилось на практике.

Закономерности формирования структур целей

Следующие три закономерности развивают рассмотренные выше закономерности применительно к структурам целей.

Зависимость способа представления целей от стадии познания объекта. Цели могут представляться в форме различных структур, подобных приведенным на рис. 1.10, т.е. с помощью: а) сетевых графиков (декомпозиция во времени — см. рис. 1.10, а); б) в виде иерархий различного вида (декомпозиция в пространстве) — древовидных (см. рис. 1.10, б), со «слабыми связями» (см. рис. 1.10, в), в форме страт и эшелонов М. Месаровича (см. рис. 1.10, г, д, соответственно); в) в матричной (табличной) форме (см. рис. 1.10, е, ж). При этом матричные представления рис. 1.10, е и 1.10, ж соответствуют иерархическим структурам рис. 1.10, б и 1.10, в.

¹ Закономерность сформулирована **В. Н. Волковой** (впервые — в коллективной монографии [80], затем — в учебниках и учебных пособиях [1, 10, 11, 20 и др.]).

На начальных этапах моделирования системы, как правило, удобнее применять декомпозицию в пространстве и предпочтительнее — древовидные иерархические структуры. Возникновение «слабых» иерархий можно объяснить тем, что цели вышестоящих уровней иерархии сформулированы слишком «близко» к идеальным устремлениям в будущее, а представление исполнителей о целях-задачах и подцелях-функциях не может обеспечить эти устремления.

Представление развернутой последовательности подцелей (функций) в виде сетевой модели требует хорошего знания объекта, законов его функционирования, технологии производства и т.п. Иногда сетевая структура может быть сформирована не сразу, а последующие подцели могут выдвигаться по мере достижения предыдущих, т.е. пространство между обобщающей целью и исходным первоначальным пониманием первой подцели будет заполняться как бы постепенно.

Такое представление может быть использовано и как средство управления, когда руководитель хорошо представляет себе конечную цель и ее декомпозицию во времени, но не уверен, что конечную цель сразу поймут исполнители; тогда он может выдвигать перед ними подцели постепенно по мере достижения предыдущей, корректируя их с учетом мнений и возможностей исполнителей¹. По-видимому, перспективным представляется развертывание во времени иерархических структур целей, т.е. сочетание декомпозиции цели в пространстве и во времени.

Проявление в структуре целей закономерности целостности. В иерархической структуре закономерность целостности (эмерджентности) проявляется на любом уровне иерархии. Применительно к структуре целей это означает, что, с одной стороны, достижение цели вышестоящего уровня не может быть полностью обеспечено достижением подчиненных ей подцелей, хотя и зависит от них. С другой стороны, потребности, программы (как внешние, так и внутренние) нужно исследовать на каждом уровне структуризации, и получаемые разными ЛПР расчленения подцелей в силу различного раскрытия неопределенности могут оказаться разными, т.е. разные ЛПР могут предложить разные иерархические структуры целей и функций, даже при использовании одних и тех же принципов структуризации и методик.

¹ Такое «расщепление» цели предложил Л. А. Растргин.

Иными словами, эффект целеобразования проявляется на каждом уровне иерархии. При этом большая неопределенность как бы расчленяется на более мелкие. Соответственно и задача анализа потребностей, мотивов, программ, влияющих на формирование обобщенной цели, тоже расчленяется на подзадачи анализа более частных потребностей, мотивов, программ на каждом уровне. В результате появляется возможность согласования мнений ЛПР на каждом шаге структуризации.

Закономерности формирования иерархических структур целей. Учитывая, что наиболее распространенным способом представления целей в системах организационного управления являются древовидные иерархические структуры («деревья целей»), приведем некоторые рекомендации по их формированию:

- приемы, применяющиеся при формировании древовидных иерархий целей, можно свести к двум подходам: а) формирование структур «сверху» — методы структуризации, декомпозиции, целевой или целенаправленный подход; б) формирование структур целей «снизу» — морфологический, лингвистический, тезаурусный, терминальный подход; на практике обычно эти подходы сочетаются;
- цели нижележащего уровня иерархии можно рассматривать как средства для достижения целей вышестоящего уровня, при этом они же являются целями для уровня нижележащего по отношению к ним (свойство «двуликого Януса»); поэтому в реальных условиях одновременно с использованием философских понятий «цель», «подцель», удобно разным уровням иерархической структуры присваивать различные названия, типа «направления», «программы», «задания», «задачи» и т.п.);
- в иерархической структуре по мере перехода с верхнего уровня на нижний происходит как бы смещение рассмотренной выше (см. рис. 1.4) «шкалы» от цели-направления (цели-идеала, цели-мечты) к конкретным целям и функциям, которые на нижних уровнях структуры могут выражаться в виде ожидаемых результатов конкретной работы с указанием критериев оценки ее выполнения, в то время как на верхних уровнях иерархии указание критериев может быть либо выражено

в общих требованиях (например, «повысить эффективность»), либо вообще не приводится в формулировке цели;

- для того чтобы структура целей была удобной для анализа и организации управления, к ней рекомендуется предъявлять некоторые требования: расчленение на каждом уровне должно быть соразмерным, а выделенные части логически независимыми; признаки декомпозиции (структуризации) в пределах одного уровня должны быть едиными; число уровней иерархии и число компонентов в каждом узле должно быть (в силу гипотезы Миллера или числа Колмогорова) $K = 7 \pm 2$. Эти требования не всегда совместимы, и на практике нужно искать компромиссы;
- процесс развертывания обобщенной цели в иерархической структуре, в принципе, может быть бесконечным, однако на практике ситуация иная: во-первых, в силу гипотезы Миллера число уровней иерархии следует ограничить до 5—7, а во-вторых, на каком-то уровне возникает потребность изменить «язык» описания подцелей и для того чтобы не создавать сложностей при восприятии структуры, целесообразно считать одним «деревом цели» ту часть структуры, которая может быть сформирована в терминах одного «языка» (политического, экономического, инженерного, технологического и т.п.); иными словами, возникает потребность в стратифицированном представлении структуры целей.

Рассмотренные закономерности необходимо учитывать при разработке методик структуризации и структур целей, что иллюстрируется в последующих главах.

Темы для самоконтроля

1. Цели изучения и структура дисциплины.
2. Роль системных исследований в постановке и решении задач анализа, проектирования и управления в экономических системах.
3. Особенности социально-экономических объектов как развивающихся систем с активными элементами.
4. Возникновение и краткая характеристика теории систем и системного анализа, их связь с философско-методологическими дисциплинами.

5. Место теории систем и системного анализа среди других системных направлений.
6. Области применения системных исследований в экономике.
7. Определение системы, его развитие.
8. Понятия, характеризующие строение систем: элемент, связь, структура, подсистема, среда.
9. Понятия, характеризующие функционирование систем: цель, состояние, поведение, равновесие, устойчивость, развитие, жизненный цикл системы и т.д.
10. Виды структур: сетевые, иерархические (древовидные, со «слабыми» связями, типа «страт», «слоев», «эшелонов» М. Месаровича), матричные.
11. Закономерности теории систем.
12. Закономерности взаимодействия части и целого: целостность (эмерджентность) и связанные с ней закономерности.
13. Коммуникативность и иерархическая упорядоченность.
14. Эквифинальность и закономерности осуществимости систем.
15. Закономерности развития систем (историчность, самоорганизация).
16. Закономерности целеобразования.
17. Классификации систем и методов их моделирования.
18. Примеры классификаций систем, их относительность. Выбор классификации в конкретных условиях.
19. Классификация систем К. Боулдинга и модели управления системами разных классов.
20. Классификация систем по степени организованности и ее применение при выборе методов моделирования систем.

ГЛАВА 2

Методы и модели теории систем и системного анализа

В поисках методов моделирования сложных систем и проблемных ситуаций исследователи обращались к различным разделам математики, предлагали новые, искали приемы и методы постановки задач, организации процесса коллективного принятия решений по разработке и совершенствованию сложных систем.

Для того чтобы облегчить выбор методов в реальных условиях, необходимо разделить их на группы (классы) и разработать рекомендации по их использованию при отображении систем различных классов.

Поэтому в данной главе дается представление о проблеме принятия решений (параграф 2.1), характеризуются основные подходы к моделированию систем (параграф 2.2), обосновывается предлагаемая классификация методов (параграф 2.3), в которой в качестве основных классов выделяются методы формализованного представления систем и методы, направленные на активизацию интуиции и опыта специалистов, характеризующиеся в параграфах 2.4 и 2.5; приводится краткая характеристика специальных методов системного анализа, сочетающих средства МАИС и МФПС (т.е. возможности качественного и количественного анализа), два из которых, развиваемые авторами учебника, излагаются в гл. 3 и 4; рассматривается роль теории систем и системного анализа в выборе методов моделирования (параграф 2.6) и принципы разработки методик системного анализа (параграф 2.7).

После изучения данной главы студент должен:

знать

- основные особенности системно-целевого, логико-лингвистического, морфологического, функционально-технологического и процессного подходов;
- виды классификаций методов моделирования систем;

- основные понятия аналитических, статистических, теоретико-множественных методов;
- методы математической логики, математической лингвистики и теории графов;
- методы типа «мозговой атаки», или коллективной генерации идей, «сценариев», «дерева целей», морфологического подхода и т.п.;
- принципы разработки методики системного анализа;
- методику ПАТТЕРН;
- приемы и принципы структуризации Ю. И. Черняка;
- методику С. А. Валуева;
- понятие об имитационном динамическом моделировании и его применении при разработке прогнозов Римского клуба;
- понятие о структурно-лингвистическом моделировании и его модификациях;
- понятие о когнитивном подходе и формах его реализации. Принципы формирования когнитивной карты и методы ее исследования;
- историю и основные особенности теории ситуационного управления Д. А. Поспелова;

уметь

- выбирать подход для моделирования конкретного объекта и задачи принятия решения;
- определять класс системы для отображения исследуемого или проектируемого объекта;
- обосновывать выбор класса методов моделирования систем для конкретных задач принятия решений;
- обосновывать выбор целесообразности применения имитационного динамического моделирования, структурно-лингвистического, когнитивного подходов к моделированию систем, теории ситуационного управления для конкретной задачи принятия решения;

владеть

- навыками выбора методики, принципов и приемов структуризации для конкретного исследуемого или проектируемого объекта, разработки структуры методики системного анализа.
-

2.1. Проблема принятия решения

Поскольку необходимость в методах моделирования возникает при решении каких-либо конкретных задач, то для выбора классификации методов вначале рассмотрим проблему принятия решения.

В тех случаях, когда решение задачи базируется на законах физики, химии и других фундаментальных областей знаний или когда задача может быть поставлена в терминах конкретного класса прикладных задач, для которого разработан соответствующий математический аппарат, применять термин «проблема принятия решения» нет необходимости. Потребность в этом термине возникает в тех случаях, когда задача настолько усложняется, что для ее постановки и решения не может быть сразу определен подходящий аппарат формализации, когда процесс постановки задачи требует участия специалистов различных областей знаний. Это приводит к тому, что постановка задачи становится *проблемой*, для решения которой нужно разрабатывать специальные подходы, приемы, методы. В таких случаях возникает необходимость определить область *проблемы принятия решения* (проблемную ситуацию); выявить факторы, влияющие на ее решение; подобрать приемы и методы, которые позволят сформулировать или поставить задачу таким образом, чтобы решение было принято.

Поясним процесс принятия решения на упрощенном примере — задаче по перемещению из одного пункта в другой. Такого рода задачи возникают при доставке грузов на предприятие, выпускаемой продукции — потребителю, и наконец, — повседневно перед каждым человеком при поездке из дома на работу.

Пример

В терминах «проблемы принятия решения» эту задачу можно представить следующим образом (рис. 2.1).

Дано: *цель* — достичь пункта А (или переместить груз из пункта В в пункт А) и возможные *средства* — путь (дорога) и транспорт (различные транспортные средства передвижения или средства доставки грузов).

Требуется: обеспечить реализацию цели.



Цель: достичь п. А.

Критерий: за время t^* .

Средства: дорога — L ,
транспорт — v .

*Выражение, связывающее
цель со средствами:* $t = L/v$.

$$t = f(L, v)$$

Рис. 2.1

Если нет никаких других оговорок, требований, то задачи нет, поскольку безразлично, какой маршрут и какие транспортные средства выбирать. Для того чтобы возникла необходимость принимать решение (возникла задача), нужно ввести *критерий* (или несколько критериев), отражающий *требования* к достижению цели. Аналогично нет задачи и в тех случаях, когда ЛПР не может задать требования, сформулировать критерий достижения цели или неизвестен набор средств достижения цели, т.е. имеет место задача с неопределенностью. В качестве критерия в рассматриваемой задаче можно, например, принять требование осуществить перемещение «за время t^* » или «к такому-то времени t^* ».

Для решения задачи нужно определить взаимосвязи цели со средствами ее достижения, что в данной задаче легко сделать путем оценки средств (дорога оценивается длиной пути L , транспорт — скоростью v транспортного средства; в простейшем случае — средней скоростью) и установления связей этих оценок с критерием. В данном случае в качестве выражения, связывающего цель со средствами, можно использовать закон движения, который в случае равномерного прямолинейного движения имеет вид $t = L/v$, а в общем виде $t = f(L, v)$.

Таким образом, для принятия решения нужно получить *выражение, связывающее цель со средствами ее достижения* с помощью вводимых критериев оценки достижимости цели и оценки средств (см. рис. 2. 1).

Такие выражения получили в параллельно возникавших прикладных направлениях различные названия: *критерий функционирования*; *критерий*, или *показатель, эффективности*; *целевая*, или *критериальная, функция*; *функция цели* и т.п.

Если такое выражение получено, то задача решена: варьируя либо v при $L = \text{const}$, либо L при $v = \text{const}$, либо v и L одновременно, можно получить варианты решения и выбрать из них наиболее приемлемый.

В наиболее общем случае могут учитываться и варьироваться не только *компоненты* (средства достижения цели) и *критерии* (отражающие требования и ограничения), но и сами *цели*, если первоначальная их формулировка не привела к желаемому результату, т.е. цели неточно отразили потребности ЛПР.

При постановке рассматриваемой задачи могут быть учтены не только обязательные, основные требования, отражаемые с помощью критерия, но и дополнительные требования, которые могут выступать в качестве *ограничений* (в данной задаче это могут быть затраты на

создание или приобретение средства транспортировки грузов, наличие денежных средств у человека, выбирающего вид транспорта и т.п.).

Тогда для решения задачи формируют комплекс соотношений, включающий наряду с основным выражением, связывающим цель со средствами, соотношения-неравенства, отражающие ограничения.

Подобная постановка задачи была предложена Л. В. Канторовичем [39] и является основой теории оптимизации и нового направления в математике — математического программирования, широко используемого в экономике для задач планирования. В такой постановке выражение, связывающее цель со средствами, устремляют к максимуму или минимуму; выражения, отражающие ограничения, представляют собой, как правило, неравенства (хотя в принципе могут быть и равенствами). Разработан широкий спектр методов решения задач математического программирования. Его важные принципиальные особенности будут кратко охарактеризованы ниже.

Выражения, связывающие цель со средствами ее достижения, могут представлять собой не только простые соотношения, подобные рассмотренным выше, но и более сложные, составные критерии (показатели) аддитивного или мультипликативного вида. Конечно в этом случае могут возникнуть вычислительные сложности, при преодолении которых может потребоваться вновь обратиться к постановке задачи. Однако полученное формализованное ее представление позволяет в дальнейшем применять и формализованные методы анализа проблемной ситуации.

В то же время при постановке задачи в числе критериев могут быть и принципиально неформализуемые. Например, даже в рассмотренной, простейшей задаче наряду с критерием времени и ограничением по затратам можно учесть и такие, принципиально неформализуемые критерии, как безопасность транспортировки грузов для рабочих, удобство приведения в действие транспортно-распределительных устройств или их остановки, а также такой критерий, который определяется термином «комфорт».

Пример

С учетом последнего критерия, даже при коротких расстояниях и небольшом выигрыше во времени, можно выбрать такси вместо общественного транспорта, если конечно позволяют денежные средства; или при передвижении между населенными пунктами иногда

лучше выбрать более длинную, но асфальтированную дорогу, чем более короткую, но ухабистую.

Можно выбирать транспортное средство с учетом вида груза. Например, в случае скоропортящейся продукции лучше использовать более дорогостоящий рефрижератор, чем обычный грузовой автомобиль и т.д.

В рассмотренных выше случаях полностью формализованная постановка задачи оказывается нереализуемой. Возможны и другие реальные ситуации, затрудняющие формализацию критериев или формирование выражения, связывающего цель со средствами.

Получить такие выражения легко, если известен закон, позволяющий связать цель со средствами (в рассмотренном примере — закон движения). Если закон неизвестен, то стараются определить *закономерности* на основе статистических исследований либо исходя из наиболее часто встречающихся на практике экономических или функциональных зависимостей. Если и это не удастся сделать, то выбирают или разрабатывают *теорию*, в которой содержится ряд утверждений и правил, позволяющих сформулировать концепцию и сконструировать на ее основе процесс принятия решения. Если и теории не существует, то выдвигается *гипотеза*, и на ее основе создаются *модели*, с помощью которых исследуются возможные варианты решения.

В общем виде для ситуаций различной сложности процесс отображения проблемной ситуации можно представить, воспользовавшись многоуровневыми структурами типа «слоев» М. Месаровича (рис. 2.2).

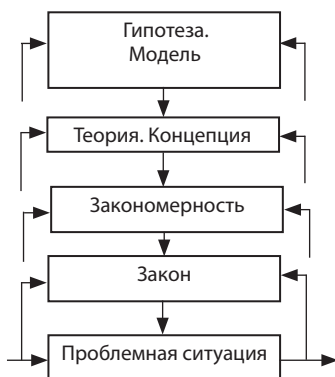


Рис. 2.2

При постановке конкретной задачи могут присутствовать не все уровни, приведенные на рис. 2.2.

Пример

Далеко не всегда существует теория. Два верхних уровня можно менять местами, т.е. начинать исследование с выбора теории или формулирования концепции, а затем на их основе формировать модель.

По поводу термина «модель» существуют разные точки зрения. Первоначально потребность в применении этого термина возникла, когда не удавалось решить задачу строго математическими методами, но в последующем формализованные постановки типа рассмотренной, также стали называть моделями.

Наиболее краткое и точное определение модели дал *С. Лем*: «Моделирование — это подражание природе, учитывающее немногие ее свойства»¹. При этом он поясняет, что «немногие» не из-за неумения, а для защиты от избытка информации. Модель учитывает важные для цели исследования факторы и отсеивает малозначимые.

В этом смысле можно говорить о механических, математических, компьютерных и т.п. моделях. Любая из них может рассматриваться как отображение реального объекта или процесса, которое учитывает свойства, интересующие исследователя.

При решении задач организации современного производства необходимо учитывать все большее число факторов различной природы, являющихся предметом исследования различных областей знаний. В этих условиях один человек не может принять решение о выборе факторов, влияющих на достижение цели, не может определить существенные взаимосвязи между целями и средствами; в формировании и анализе модели принятия решения должны участвовать коллективы разработчиков, состоящие из специалистов различных областей знаний, между которыми нужно организовать взаимодействие и взаимопонимание; а проблема принятия решений становится проблемой коллективного выбора целей, критериев, средств и вариантов достижения цели, т.е. *проблемой коллективного принятия решения*.

Число и сложность подобных проблем, для которых невозможно сразу получить критерий эффективности в аналитической форме,

¹ Лем, С. Сумма технологий / С. Лем. — М. : Мир, 1968. — С. 255.

по мере развития цивилизации возрастает; возрастает также и цена неверно принятого решения. Для проблем принятия решения характерно, как правило, сочетание качественных и количественных методов. Принятие решений в системах управления промышленностью часто связано с дефицитом времени: лучше принять не самое хорошее решение, но в требуемый срок, так как в противном случае лучшее решение может уже и не понадобиться. Поэтому решение часто приходится принимать в условиях неполной информации (ее неопределенности или даже дефицита), и нужно обеспечить возможность как можно в более сжатые сроки определить наиболее значимые для принятия решений сведения и наиболее объективные предпочтения, лежащие в основе принятия решения.

Для того чтобы помочь в более сжатые сроки поставить задачу, проанализировать цели, определить возможные средства, отобрать требуемую информацию (характеризующую условия принятия решения и влияющую на выбор критериев и ограничений), а в идеале — получить выражение, связывающее цель со средствами, применяют системные представления, приемы и методы системного анализа.

С помощью системного анализа можно обеспечить взаимодействие и взаимопонимание между специалистами различных областей знаний, участвующими в постановке и решении задачи, помочь исследователям организовать процесс коллективного принятия решения. Для реализации этого процесса нужно выбрать методы системного анализа, а для обеспечения возможности сравнения методов и разработки рекомендаций по их выбору в конкретных условиях, нужно принять или сформировать классификацию методов.

2.2. Подходы к анализу и проектированию систем

На протяжении всей истории развития теории систем предлагались и применялись различные подходы к представлению (отображению), анализу и проектированию систем.

Традиционный подход, применяющийся в математических исследованиях: определить элементы-переменные и связать их соответствующим соотношением (формулой, уравнением, системой уравнений), отображающим принцип взаимодействия элементов.

Когда задачи усложнились, и такое соотношение не удавалось сразу найти, то предлагалось формировать «пространство состояний» элементов и вводить «меры близости» между элементами этого пространства. Такой подход вначале пытались применить для исследования сложных систем. Предлагалось обследовать систему, выявить все элементы и связи между ними. Этот подход называли иногда «перечислением» системы.

При обследовании применялись разные способы: 1) *архивный* (изучение документов и архивов предприятия); 2) *опросный* или *анкетный* (опрос сотрудников, в том числе с помощью специально разработанных вопросников-анкет).

Однако первые же попытки применить такой подход к исследованию систем управления предприятиями и организациями показали, что «перечислить» сложную систему практически невозможно. В истории разработки автоматизированных систем управления был такой случай. Разработчики написали несколько десятков томов обследования системы, а так и не могли приступить к созданию АСУ, поскольку не могли гарантировать полноты описания. Руководитель разработки вынужден был уволиться и в последствии стал изучать системный подход и популяризировать его.

Учитывая трудности «перечисления» системы, с самого начала возникновения системных теорий исследователи искали подходы к ее анализу и созданию.

Приведем основные подходы к анализу систем, предлагавшиеся разными исследователями:

- в начальный период развития теории систем развивался бихевиористский подход, основанный на исследовании поведения (*behaviour* — поведение) систем; однако он весьма трудоемок и не всегда реализуем;
- американский ученый **М. Месарович** [8, 54] предложил подходы, которые назвал *целенаправленным* и *терминальным* (от *терм* — элементарная частица, интересующая исследователя);
- польский ученый **Р. Куликовски** [45] предложил называть аналогичные подходы *декомпозицией* и *композицией* системы;

- швейцарский астроном, венгр по происхождению **Ф. Цвикки** [64, 109], предложил и развил *морфологический подход* (см. гл. 4), который помогает искать полезные объединения элементов путем их комбинаций;
- американская корпорация RAND [49] предложила подход к созданию сложных программ и проектов, названный «*деревом целей*» (см. гл. 5);
- в практике проектирования сложных технических комплексов возникли термины «язык моделирования», «язык автоматизации проектирования», применяющиеся для отображения взаимосвязей между компонентами проекта; при разработке языков моделирования применяют *математическую логику* и *математическую лингвистику*, в которой есть удобный термин для описания структуры языка-*тезаурус* (см. гл. 4), и подход называют иногда *лингвистическим* или *тезаурусным*;
- при исследовании и формировании структур были предложены следующие подходы: путем поиска связей между элементами или, напротив, путем устранения лишних связей.

С учетом рассмотренных подходов в настоящее время на основе обобщения предшествующего опыта сформировалось два основных подхода к отображению систем, первоначально предложенных для формирования структур целей [80]:

- а) «сверху» — методы *структуризации* или *декомпозиции*, *целевой* или *целенаправленный* подход;
- б) «снизу» — подход, который называют *морфологическим* (в широком смысле), *лингвистическим*, *тезаурусным*, *терминальным* методом «языка» системы. С помощью этого подхода реализуют поиск взаимосвязей (мер близости) между элементами.

Подход «снизу» можно реализовать, применяя не только комбинаторные приемы (морфологический и т.п.), но и бихевиористский подход, вариант которого при автоматизации моделирования поведения объектов в настоящее время иногда называют *процессным*.

Подходы «сверху» и «снизу» называют также *аксиологическим* и *каузальным* соответственно [53].

Аксиологическое представление системы — отображение системы в терминах *целей* и *целевых функционалов*. Такое название (понятие) используют в тех случаях, когда необходимо выбрать подход к отображению

системы на начальном этапе моделирования и противопоставить это отображение описанию системы в терминах «перечисления» элементов системы и их непосредственного влияния друг на друга, т.е. *каузального представления*.

Каузальное представление системы — описание системы в терминах влияния одних переменных на другие, без употребления понятий цели и средств ее достижения. Это название происходит от понятия «*cause*» — причина, т.е. подразумевает причинно-следственные отношения. При каузальном представлении будущее состояние системы определяется предыдущими состояниями и воздействиями среды. Такое представление является развитием отображения системы в виде «пространства состояний», характерного для большинства математических методов моделирования. Применяют каузальное представление в случае предварительного описания системы, когда *цель* сразу не может быть сформулирована, и для отображения системы или проблемной ситуации не может быть применено *аксиологическое представление*.

На практике обычно эти подходы сочетают. Кроме обобщенных, разрабатывают и специальные подходы к моделированию систем: *информационный, кибернетический, когнитивный, ситуационный, структурно-лингвистический*, подход, основанный на идее *постепенной формализации модели принятия решения*, и др.

2.3. Классификация методов моделирования систем

Постановка любой задачи заключается в том, чтобы перевести ее словесное или *вербальное* описание в *формальное*.

В случае относительно простых задач такой переход осуществляется в сознании человека, который не всегда даже может объяснить, как он это сделал. Если полученная формальная модель (математическая зависимость между величинами в виде формулы, уравнения, системы уравнений) опирается на фундаментальный закон или подтверждается экспериментом, то этим доказывается ее адекватность отображаемой ситуации, и модель рекомендуется для решения задач соответствующего класса.

По мере усложнения задач получение модели и доказательство ее адекватности усложняется. Вначале эксперимент становится дорогостоящим и опасным (например, при создании сложных технических комплексов, реализации космических программ и т.д.), а применительно к экономическим объектам — практически нереализуемым. Тогда задача переходит в класс *проблем принятия решений*, и постановка задачи, формирование модели, т.е. перевод вербального описания в формальное, становятся важной составной частью процесса принятия решения. Причем эту составную часть не всегда можно выделить как отдельный этап, завершив который, можно обращаться с полученной формальной моделью так же, как с обычным математическим описанием, строгим и абсолютно справедливым. Большинство реальных ситуаций проектирования сложных технических комплексов и управления экономикой необходимо отображать классом самоорганизующихся систем, модели которых должны постоянно корректироваться и развиваться. При этом возможно изменение не только модели, но и метода моделирования, что часто является средством развития представления ЛПР о моделируемой ситуации.

Иными словами, перевод вербального описания задачи или проблемной ситуации в формальное, осмысление, интерпретация модели и получаемых результатов становятся неотъемлемой частью практически каждого этапа моделирования сложной развивающейся системы. Часто для того чтобы точнее охарактеризовать такой подход к моделированию процессов принятия решений, говорят о создании как бы «механизма» моделирования, «механизма» принятия решений (например, «хозяйственный механизм», «механизм проектирования и развития предприятия» и т.п.).

Возникающие у исследователей вопросы: «Как формировать такие развивающиеся модели или «механизмы»? Как доказывать адекватность моделей?» — и являются основным предметом системного анализа.

Для решения проблемы перевода вербального описания или проблемной ситуации в формальное отображение в различных областях деятельности стали развиваться специальные приемы и методы. Так возникли методы «мозговой атаки», «сценариев», экспертных оценок, «дерева целей» и т.п.

В свою очередь развитие математики шло по пути расширения средств постановки и решения трудно формализуемых задач.

Наряду с детерминированными, *аналитическими методами* классической математики возникла *теория вероятностей* и *математическая статистика* (как средство доказательства адекватности модели на основе представительной выборки и понятия вероятности правомерности использования модели и результатов моделирования). Для задач с большей степенью неопределенности инженеры стали привлекать *теорию множеств*, *математическую логику*, *математическую лингвистику*, *теорию графов*, что во многом стимулировало развитие этих направлений. Иными словами, математика стала постепенно накапливать средства работы с неопределенностью, со смыслом, который классическая математика исключала из объектов своего рассмотрения.

Таким образом, между неформальным, образным мышлением человека и формальными моделями классической математики сложился «спектр» методов, которые помогают получать и уточнять (формализовать) вербальное описание проблемной ситуации, с одной стороны, и интерпретировать формальные модели, связывать их с реальной действительностью, с другой. Этот «спектр» методов условно представлен на рис. 2.3, а.

Развитие методов моделирования, разумеется, шло не так последовательно, как показано на рис. 2.3, а. Методы возникали и развивались параллельно. Существуют различные модификации сходных методов. Их по-разному объединяли в группы, т.е. исследователи предлагали разные классификации (в основном — для формальных методов, что более подробно рассмотрено в параграфе 2.3). Постоянно возникают новые методы моделирования как бы на «пересечении» уже сложившихся групп. Однако основную идею — существование «спектра» методов между вербальным и формальным представлением проблемной ситуации — этот рисунок иллюстрирует.

Первоначально исследователи, развивающие теорию систем, предлагали классификации систем, старались поставить им в соответствие определенные методы моделирования, позволяющие наилучшим образом отразить особенности того или иного класса. Такой подход к выбору методов моделирования подобен подходу прикладной математики. Однако в отличие от последней, в основу которой положены классы прикладных задач, системный анализ может один и тот же объект или одну и ту же проблемную ситуацию (в зависимости от степени неопределенности и по мере их поз-

нения) отображать разными классами систем и, соответственно, различными моделями.

Существует и другая точка зрения. Если последовательно менять методы приведенного на рис. 2.3, а «спектра» (не обязательно используя все), то можно постепенно, ограничивая полноту описания проблемной ситуации (что неизбежно при формализации), но сохраняя наиболее существенные с точки зрения цели (структуры целей) компоненты и связи между ними, перейти к формальной модели.

Такая идея реализовалась, например, при создании программного обеспечения ЭВМ и автоматизированных информационных систем путем последовательного перевода описания задачи с естественного языка на язык высокого уровня (язык управления заданиями, информационно-поисковый язык, язык моделирования, автоматизации проектирования), а с него — на один из языков программирования, подходящий для данной задачи (ПЛ/1, ПАСКАЛЬ, ЛИСП, СИ, ПРОЛОГ и т.п.), который в свою очередь транслируется в коды машинных команд, приводящих в действие аппаратную часть ЭВМ.

В то же время анализ процессов изобретательской деятельности¹, опыта формирования сложных моделей принятия решений показал, что практика не подчиняется такой логике, т.е. человек поступает иначе: он попеременно выбирает методы из левой и правой частей «спектра», приведенного на рис. 2.3, а.

Поэтому удобно «переломить» этот «спектр» методов примерно в середине, где графические методы смыкаются с методами структуризации, т.е. разделить методы моделирования систем на два больших класса: *методы формализованного представления систем* и *методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов*. Возможные классификации этих двух групп методов приведены на рис. 2.3, б. Подробнее они рассмотрены в параграфах 2.4 и 2.5.

Такое разделение методов находится в соответствии с основной идеей системного анализа, которая состоит в сочетании в моделях и методиках формальных и неформальных представлений, что помогает в разработке методик, выборе методов постепенной формализации отображения и анализа проблемной ситуации. Возможные варианты последовательного использования методов из групп

¹ Адамар, Ж. Указ. соч.

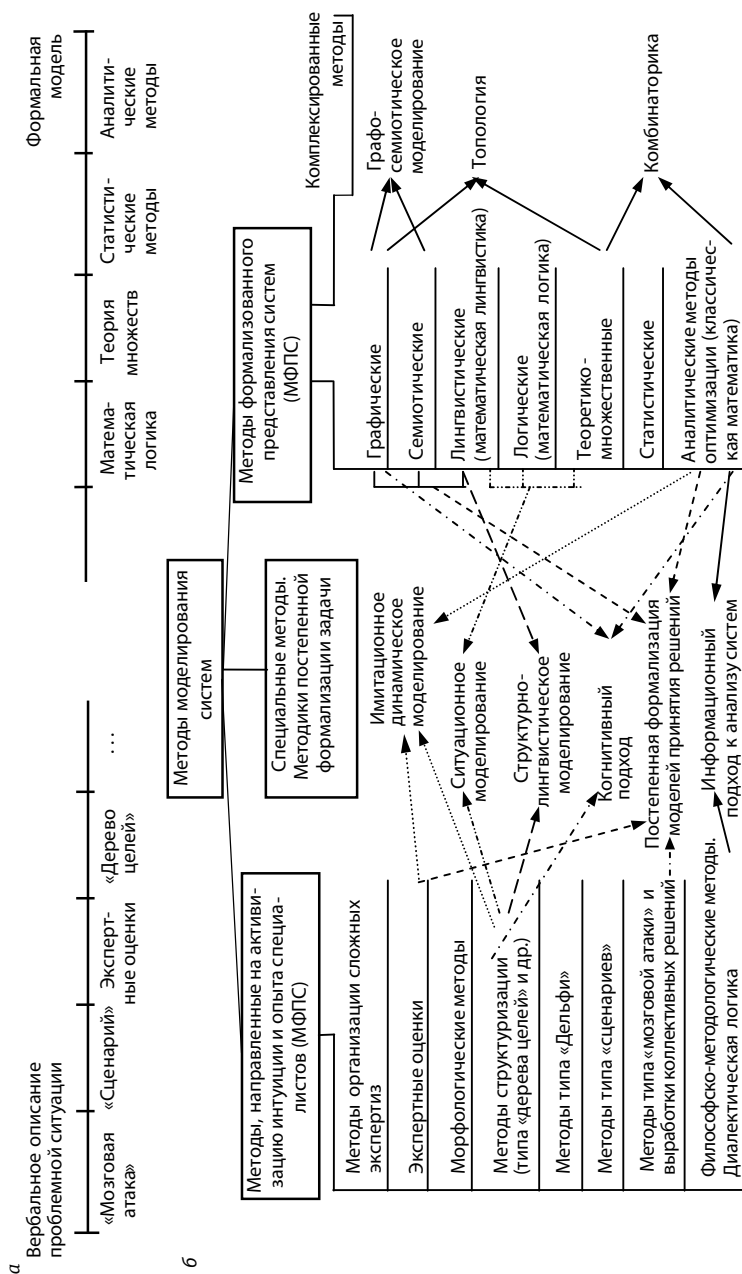


Рис. 2.3

МАИС и МФПС в примерах методик, приводимых в последующих главах учебника (соответствующие ссылки будут даны), показаны на рисунке сплошной и различными штриховыми линиями.

Отметим, что на рис. 2.3, б в группе МАИС методы расположены снизу вверх примерно в порядке возрастания возможностей формализации, а в группе МФПС — снизу вверх возрастает внимание к содержательному анализу проблемы и появляется все больше средств такого анализа. Такое упорядочение помогает сравнивать методы и выбирать их при формировании развивающихся моделей принятия решений, при разработке методик системного анализа.

Классификации МАИС и особенно МФПС могут быть разными. На рис. 2.3, б приведена классификация МФПС, предложенная **Ф. Е. Темниковым** [19] и подробнее рассматриваемая в параграфе 2.4, в которой приведены и другие примеры классификаций МФПС.

Предлагаемые названия групп методов более предпочтительны, чем используемые иногда термины — *качественные* и *количественные* методы, поскольку, с одной стороны, методы, отнесенные к группе МАИС, могут использовать и формализованные представления (при разработке *сценариев* могут применяться статистические данные, проводиться некоторые расчеты; с формализацией связаны получение и обработка экспертных оценок, методы морфологического моделирования), а с другой стороны, в силу теоремы **К. Гёделя** о неполноте в рамках любой формальной системы, сколь бы полной и непротиворечивой она ни казалась, имеются положения (соотношения, высказывания), истинность или ложность которых нельзя доказать формальными средствами этой системы, а для преодоления неразрешимой проблемы нужно расширять формальную систему, опираясь на содержательный, качественный анализ.

Результаты Гёделя были получены для арифметики, самого формального направления математики, и позволили предположить, что процесс логического, в том числе математического доказательства, не сводится к использованию только дедуктивного метода, что в нем всегда присутствуют неформальные элементы мышления. В дальнейшем исследования этой проблемы математиками и логиками показали, что доказательства вовсе не обладают абсолютной, не зависящей от времени строгостью, и являются только культурно опосредованными средствами убеждения.

Иными словами, строгого разделения на формальные и неформальные методы не существует. Можно говорить только о большей или меньшей степени формализованности или, напротив, большей или меньшей опоре на интуицию, «здравый смысл»¹.

Специалист по системному анализу должен понимать, что любая классификация условна. Она — лишь средство, помогающее ориентироваться в огромном числе разнообразных методов и моделей. Поэтому разрабатывать классификацию нужно обязательно с учетом конкретных условий, особенностей моделируемых систем (процессов принятия решений) и предпочтений ЛПР, которым можно предложить выбрать классификацию.

Новые методы моделирования часто создаются на основе сочетания ранее существовавших классов методов.

Так, методы, названные на рис. 2.3 *комплексированными* (комбинаторика, топология), начинали развиваться параллельно в рамках линейной алгебры, теории множеств, теории графов, а затем оформились в самостоятельные направления.

Существуют также новые методы, базирующиеся на сочетании средств МАИС и МФПС. Эта группа методов представлена на рис. 2.3, б в качестве самостоятельной группы методов моделирования, обобщенно названной *специальными методами*. Стрелками показано, какие средства МАИС и МФПС использованы при создании этих методов.

Наибольшее распространение получили следующие специальные методы моделирования систем:

- *имитационное динамическое моделирование (System Dynamics Simulation Modeling);*

этот метод предложен **Дж. Форрестером** (США) в 50-х гг. XX в., он использует удобный для человека структурный язык, помогающий выражать реальные взаимосвязи, отображающие в системе замкнутые контуры управления, и аналитические представления (линейные конечно-разностные уравнения), позволяющие реализовать формальное исследование полученных моделей на ЭВМ с использованием специализированного языка *DYNAMO*; в нашей стране это направление развивается профессором **А. В. Федотовым** применительно к систе-

¹ Системный анализ иногда определяют как «формализованный здравый смысл» или «здравый смысл, на службу которому поставлены математические методы» [43].

мам управления вузом и другими социально-экономическими объектами [87 и др.];

■ *ситуационное моделирование*;

идея предложена **Д. А. Поспеловым** [68] и реализована **Ю. И. Клыковым** и **Л. С. Загадской** (см. [80, гл. 7]); это направление базируется на отображении в памяти ЭВМ и анализе проблемных ситуаций с применением специализированного языка, разрабатываемого с помощью выразительных средств теории множеств, математической логики и теории языков;

■ *структурно-лингвистическое моделирование*;

подход возник в 70-е гг. XX в. в инженерной практике и основан на использовании для реализации идей комбинаторики структурных представлений разного рода, с одной стороны, и средств математической лингвистики, с другой; в расширенном понимании подхода в качестве языковых (лингвистических) средств используются и другие методы дискретной математики (языки, основанные на теоретико-множественных представлениях, на использовании средств математической логики, семиотики);

■ *когнитивный подход* (от лат. *cognitio* — знание, познание);

подход базируется на идеях *когнитивной психологии*; истоки когнитивного подхода прослеживаются, начиная с работ древнегреческих мыслителей (учение об универсалиях Платона); оформление когнитивного подхода как особой дисциплины связывают с именем **У. Найссера**, опубликовавшего в 1967 г. книгу с изложением этого подхода¹, которая стала в определенном смысле программной; в настоящее время наблюдается обилие моделей, предлагаемых для интерпретации различных аспектов мыслительного процесса; в нашей стране это направление активно развивается школой профессора **Г. В. Гореловой** применительно к системам управления муниципальными образованиями [28]. В моделях этой школы графические представления сочетаются с аналитическими методами исследования импульсных процессов.

■ *подход, базирующийся на идее постепенной формализации моделей принятия решений путем поочередного использования средств МАИС и МФПС*;

¹ Neisser, U. *Cognitive Psychology*. — N. Y., 1967; Найссер, У. *Познание и реальность*. — М., 1981.

этот подход к моделированию самоорганизующихся (развивающихся) систем был первоначально предложен одним из авторов учебника на базе концепции структурно-лингвистического моделирования [21, 25], а в последующем стал основой практически всех методик системного анализа (подробнее подход и его использование при разработке методик и языков моделирования рассмотрен в гл. 4);

- *теория информационного поля и информационных цепей (информационный подход к моделированию и анализу систем);*

концепция информационного поля предложена одним из авторов данного учебника и впервые опубликована в его брошюре по теоретическим основам кибернетики [33]; теория основана на использовании для активизации интуиции ЛПР законов диалектики, а в качестве средства формализованного отображения объекта или проблемной ситуации — аппарата математической теории поля и теории цепей; этот подход рассматривается в гл. 3, а примеры его применения — в гл. 6—8; для краткости подход назван *информационным*, поскольку в его основе лежит отображение реальных ситуаций с помощью информационных моделей.

Классификация методов моделирования, подобная рассмотренной, помогает осознанно выбирать методы моделирования (см. параграф 2.7); она может развиваться, дополняться конкретными методами, т.е. аккумулировать опыт, накапливаемый в процессе проектирования и управления.

2.4. Методы формализованного представления систем

В поисках методов моделирования сложных систем и проблемных ситуаций исследователи обращались к различным разделам математики, предлагали новые, искали приемы и методы постановки задач, организации процесса коллективного принятия решений по разработке и совершенствованию сложных систем.

Математика непрерывно развивается. Возникают новые области и математические теории, отмирают или вливаются в другие устаре-

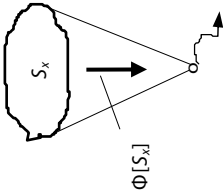
вающие разделы. Исследованием структуры (или, как принято говорить, *архитектуры*) математики занимаются многие ученые.

Несмотря на то, что в практике моделирования широко используют теорию множеств, математическую логику, математическую лингвистику и другие направления современной математики, до сих пор еще не все ученые-математики склонны включать в число математических некоторые из этих направлений. Благодаря работам французских ученых теорию множеств и математическую логику стали признавать разделами математики, а математическую лингвистику и семиотику часто к математике не относят. Поэтому, чтобы не обсуждать различные точки зрения (которые постепенно изменяются, развиваются), вместо термина «математические методы» удобнее применять предложенный Ф. Е. Темниковым [19] термин «методы формализованного представления систем».

В данном учебнике принята и кратко характеризуется классификация **Ф. Е. Темникова**, в которой выделены следующие обобщенные группы (классы) методов (табл. 2.1):

- *аналитические* (методы классической математики, включая интегро-дифференциальное исчисление, методы поиска экстремумов функций, вариационное исчисление и т.п.; методы математического программирования; первые работы по теории игр и т.п.);
- *статистические* (включающие и теоретические разделы математики — теорию вероятностей, математическую статистику, и направления прикладной математики, использующие стохастические представления, — теорию массового обслуживания, методы статистических испытаний, основанные на методе Монте-Карло, метод выдвижения и проверки статистических гипотез А. Вальда и другие методы статистического имитационного моделирования);
- *методы дискретной математики*, включая теоретико-множественные, логические, лингвистические, семиотические представления, составляющие теоретическую основу работки языков моделирования, автоматизации проектирования, информационно-поисковых языков; *графические* (теория графов и разного рода графические представления информации типа диаграмм, гистограмм и других графиков).

Таблица 2.1

Название класса методов и символический образ	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сферы и возможности применения
<p data-bbox="235 1257 253 1469">Аналитические методы</p>  <p>The diagram shows a cloud-like shape labeled S_x on the left. An arrow points from it to a point on a graph on the right. Below the arrow is the label $\Phi[S_x]$. The graph shows a curve starting from the origin and increasing with some oscillations.</p>	<p data-bbox="213 719 231 1219">Аналитическими здесь названы методы, которые ряд свойств многомерной, многоосной системы отображают в n-мерном пространстве в виде одной единственной точки (безразмерной в строгих математических доказательствах), совершающей какие-либо перемещения в пространстве (или обладающей каким-то поведением). Это отображение осуществляется посредством оператора (функции, функционала) $\Phi[S_x]$. Можно также две (или более) системы или их части отобразить точками и рассматривать их взаимодействие. Поведение точек, их взаимодействие описываются строгими соотношениями, имеющими силу закона.</p> <p data-bbox="508 719 618 1219">Основу понятийного (терминологического) аппарата этих представлений составляют понятия классической математики (величина, формула, функция, уравнение, система уравнений, логарифм, дифференциал, интеграл и т.д.).</p> <p data-bbox="625 719 849 1219">На базе аналитических представлений возникли и развиваются математические теории различной сложности — от аппарата классического математического анализа (методов исследования функций, их вида, способов представления, поиска экстремумов функций и т.п.) до таких новых разделов современной математики, как математическое программирование (линейное, нелинейное, динамическое и т.п.), теория игр (матричные игры с чистыми стратегиями, дифференциальные игры и т.п.)</p>	<p data-bbox="213 180 437 697">Применяются в тех случаях, когда свойства системы можно отобразить с помощью детерминированных величин или зависимостей, т.е. когда знания о процессах и событиях в некотором интервале времени позволяют полностью определить поведение их вне этого интервала. Эти методы используются при решении задач движения и устойчивости, оптимального размещения, распределения работ и ресурсов, выбора наилучшего пути, оптимальной стратегии поведения, в том числе в конфликтных ситуациях и т. п.</p> <p data-bbox="444 180 529 697">Математические теории, развивающиеся на базе аналитических представлений, стали основой многих прикладных теорий, в том числе теории автоматического управления, теории оптимальных решений и т.д.</p> <p data-bbox="537 180 665 697">При практическом применении аналитических представлений для отображения сложных систем следует иметь в виду, что они требуют установления всех детерминированных связей между учитываемыми компонентами и целями системы в виде аналитических зависимостей.</p> <p data-bbox="672 180 736 697">Для сложных многокомпонентных, многокритериальных систем получить требуемые аналитические зависимости крайне трудно.</p> <p data-bbox="743 180 828 697">Более того, даже если это и удается, то практически невозможно доказать правомерность применения таких выражений, т.е. адекватность модели рассматриваемой задаче</p>

Продолжение табл. 2.1

Название класса методов и символический образ	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сферы и возможности применения
<p>Статистические методы</p>	<p>Статистическим называют отображение системы с помощью случайных (стохастических) событий, процессов, которые описываются вероятностными характеристиками и статистическими закономерностями. Статистические отображения системы можно представить (см. символический образ) как бы в виде «размытой» точки (размытой области) в n-мерном пространстве, в которую переводит систему (ее учитываемые в модели свойства) оператор $\Phi[S_x]$. «Размытую» точку следует понимать как некоторую область, характеризующую движение системы (ее поведение). При этом границы области заданы с некоторой вероятностью p (под вероятностью события понимается $p(A) = m/n$, где m — число появлений события A; n — общее число опытов; если при $n \rightarrow \infty$ ($m/n \rightarrow \text{const}$), т.е. границы как бы «размыты», и движение точки описывается не-которой случайной функцией. Фиксируя все параметры этой области, кроме одного, можно получить «срез» по линии $a-b$, смысл которого — воздействие данного параметра на поведение системы, что можно описать статистическим распределением по этому параметру. Аналогично можно получить двумерную, трехмерную и т.д. картины статистического распределения.</p> <p>На базе статистических представлений развивается ряд математических теорий: <i>математическая статистика</i>; <i>теория статистических испытаний</i> (основой которой является метод Монте-Карло, а развитием — теория статистического имитационного моделирования); <i>теория выделения и проверки статистических гипотез</i>, базирующаяся на общей теории статистических решающих функций А. Вальда (частным случаем этой теории, важным для теории систем, является</p>	<p>На базе статистических представлений возникли и развиваются ряд прикладных направлений: <i>статистическая радиотехника</i>, <i>статистическая теория распознавания образов</i>, <i>экономическая статистика</i>, <i>теория массового обслуживания</i>; а также развившиеся из направлений, возникших на базе аналитических представлений, — <i>стохастическое программирование</i>, <i>новые разделы теории игр</i> и т.п.</p> <p>Применение статистических представлений позволяет расширить возможности отображения сложных систем и процессов по сравнению с аналитическими методами. Это объясняется тем, что процесс постановки задачи как бы частично заменяется статистическими исследованиями, позволяющими, не выявляя все детерминированные связи между изучаемыми объектами (событиями) или учитываемыми компонентами сложной системы, на основе выборочного исследования (исследования репрезентативности и распространяя их на поведение системы в целом с какой-то вероятностью. Однако не всегда можно получить статистические закономерности, не всегда может быть определена репрезентативная выборка, доказана правомерность применения статистических закономерностей. Если же не удается доказать репрезентативность выборки или для этого требуется недопустимо большое время, то применение статистических методов может привести к неверным результатам.</p> <p>В таких случаях целесообразно обратиться к методам, объединяемым под общим названием — <i>методы дискретной математики</i>, которые помогают разрабатывать языки моделирования, модели и методики постепенной формализации процесса принятия решения.</p>

Продолжение табл. 2.1

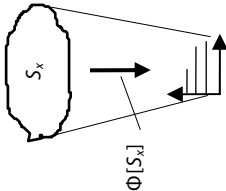
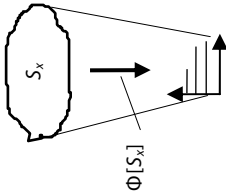
Название класса методов и символический образ	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сферы и возможности применения
<p>Теоретико-множественные представления</p> 	<p>байесовский подход к исследованию передачи информации в процессах общения, обучения и других ситуациях); теория потенциальной помехоустойчивости; теория решающих функций. Обобщением двух последних направлений является теория статистических решений</p>	<p>Статистические и теоретико-множественные методы инициировали возникновение теории нечетких, или «размытых», множеств Л. Заде, которая явилась началом развития нового направления — нечетких формализаций (см. Нечеткие, или «размытые», множества) и т.д.</p>
<p>Теоретико-множественные представления</p> 	<p>Теоретико-множественные представления базируются на понятиях множества, элементы множества, отношения на множествах, континуум.</p> <p>Множества могут задаваться следующими способами: 1) перечислением (интенционально): $\{a_i\}$, где $i = 1, \dots, n$ или $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$, где $a_i \in A$; 2) путем указания некоторого характеристического свойства A (экстенционально).</p> <p>В основе теоретико-множественных преобразований лежит переход от одного способа задания множества к другому.</p> <p>В множестве могут быть выделены подмножества. Из двух или нескольких множеств можно сформировать путем установления отношений между элементами этих множеств новое множество, обладающее принципиально новыми свойствами и, как правило, новое качество приобретают и элементы.</p> <p>Теоретико-множественные представления допускают введение любых произвольных отношений. При конкретизации отношений и правил их использования можно получить одну из алгебр логики, один из формальных языков математической лингвистики, создать язык моделирования сложной системы, который затем может развиваться как самостоятельное научное направление, получив соответствующее название.</p>	<p>Благодаря возможности введения любых отношений теоретико-множественные представления используются как обобщающий язык при сопоставлении различных направлений математики и других дисциплин, явились основой для возникновения новых научных направлений или развития существующих.</p> <p>В частности, теоретико-множественные представления получили широкое распространение для уточнения ряда математических направлений. Первой теорией, для которой на основе этих представлений были получены важные новые результаты, была теория чисел. Теоретико-множественные представления сыграли большую роль в становлении комбинаторики, топологии, в разработке теории «размытых» множеств Л. Заде. На их основе стали создаваться первые информационно-поисковые языки, языки автоматизации моделирования. На теоретико-множественных представлениях базируется вариант тематической теории систем М. Месаровича.</p> <p>Система может быть представлена совокупностью множеств или подмножеств элементов и отношениями. Однако свобода введения произвольных отношений приводит к тому, что в формализованном с их помощью описании проблемной ситуации довольно быстро могут обнаружиться неразрешимые противоречия — парадоксы,</p>

Продолжение табл. 2.1

Название класса методов и символический образ	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сферы и возможности применения
Логические методы или математическая логика 	<p>Между теоретико-множественными описаниями разных систем или их частей можно устанавливать соответствия: <i>гомоморфизма, изоморфизма, автоморфизма</i>, отношения <i>рефлексивности, симметричности, транзитивности</i>, заимствованные теорией множеств из других разделов математики</p>	<p><i>априори</i> или <i>антиномии</i>, что не позволяет оперировать с получаемыми теоретико-множественными моделями таким же образом, как с классическими математическими (аналитическими, статистическими) соотношениями, гарантируя достоверность получаемых результатов</p>
Логические методы или математическая логика 	<p>Логические представления переводят реальную систему и отношения в ней на язык одной из <i>алгебр логики</i> (двузначной, многозначной), основанной на применении алгебраических методов для выражений законов алгебры логики. Наибольшее распространение получила бинарная алгебра логики Буля (Булева алгебра).</p> <p>Базовыми понятиями алгебры логики являются: <i>высказывание, предикат, логические функции (операции) кванторы, логический базис, логические законы или теоремы (законы алгебры логики)</i>, применяя которые можно преобразовать систему из одного описания в другие с целью ее совершенствования. Например, получить более простую структуру (схему), содержащую меньше число состояний, элементов, но осуществляющую требуемые функции.</p> <p>Теоремы доказываются и используются в рамках формального логического базиса, определяемого совокупностью специальных правил.</p> <p>Логические методы представления систем относятся к детерминистским методам, хотя возможно их расширение в сторону вероятностных оценок.</p> <p>На базе математической логики созданы и развиваются теории <i>логического анализа и логического синтеза, теории автоматов</i>. На основе логических представлений первоначально начинали развиваться некоторые разделы <i>теории формальных языков</i>.</p>	<p>Применяются при исследовании новых структур и систем разнообразной природы (технических объектов, текстов и др.), в которых характер взаимоотношений между элементами еще не настолько ясен, чтобы возможно было их представление аналитическими методами, а статистические исследования либо затруднены, либо не привели к выявлению устойчивых статистических закономерностей.</p> <p>В то же время следует иметь в виду, что с помощью логических алгоритмов можно описывать не любые отношения, а только те, которые предусмотрены законами алгебры логики и удовлетворяют требованиям логического базиса.</p> <p>Логические представления широко применяются при исследовании и разработке <i>автоматов</i> разного рода, <i>автоматических систем контроля</i>, при решении задач <i>распознавания образов</i>. На их основе развивается самостоятельный раздел <i>теории формальных языков</i> — языки моделирования проблемных ситуаций и текстов.</p> <p>В то же время смысловые выражающие возможности у логических методов ограничены базисом и не всегда позволяя адекватно отобразить реальную проблемную ситуацию. Поэтому стали предприниматься попытки вначале создать тернарную логику, а затем и разнородности многозначных логик, вплоть до непрерывной. Однако попытки создания многозначных логик на практике пока не находят широкого применения из-за</p>

Название класса методов и символический образ	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сферы и возможности применения
<p>Лингвистические и семиотические представления, или математическая лингвистика и семиотика</p> <p>The diagram shows an irregularly shaped set labeled S_x. An arrow points from this set to the right, labeled with $\Phi[S_x]$. The arrow points towards the text T, G.</p>	<p>В силу ограниченности смысловыражающих возможностей в бинарной алгебре логики, в последнее время имеются попытки создания многозначных (тернарной и т.п.) алгебр логики, имеющих соответствующие логические базисы и теоремы</p> <p>Основными понятиями, на которых базируются лингвистические представления, являются: <i>тезаурус</i> T, <i>грамматика</i> G, <i>семантика</i>, <i>прагматика</i>.</p> <p>Термин «тезаурус» (от греч. <i>θησαυρος</i>, <i>thesauros</i> — сокровищница, богатство, клад, запас и т.п.) в общем случае характеризует совокупность научных знаний о явлениях и законах внешнего мира и духовной деятельности людей, накопленную всем человеческим обществом».</p> <p>В математической лингвистике и семиотике термин «тезаурус» используется в более узком смысле, для характеристики конкретного языка, его многоуровневой структуры. Для этих целей удобно пользоваться одним из принятых в лингвистике определений тезауруса как «множества смысловыражающих элементов языка с заданными смысловыми отношениями», которое дал Ю. А. Шрейдер.</p> <p>Для системных приложений интересно сочетание математической лингвистики и семиотики, которая возникла как наука о знаках, знаковых системах. Однако некоторые школы, развивающие семиотические представления, равноправно пользуются в семиотике понятиями математической лингвистики, такими, как <i>тезаурус</i>, <i>грамматика</i>, <i>семантика</i> и т.п. Такие представления иногда называют <i>лингвистической семиотикой</i>, или <i>лингвосомиотикой</i>.</p> <p>С теоретической точки зрения границу между лингвистическими и семиотическими представлениями при разработке языков моделирования можно опре-</p>	<p>сложности обобщения логического базиса и доказательства формальных теорем-законов многозначной алгебры логики, без чего невозможно формально применять логические законы и алгоритмы и получать достоверные результаты</p> <p>Для практических приложений модели лингвистических и семиотических представлений можно рассматривать как один класс методов формализованного представления систем.</p> <p>Лингвистические и семиотические представления возникли и развиваются в связи с потребностями анализа текстов и языков. Однако во второй половине XX в. эти представления стали широко применяться для отбора и анализа процессов в сложных системах в тех случаях, когда не удается применить сразу аналитические, статистические представления или методы формальной логики.</p> <p>В частности, лингвистические и семиотические представления являются удобным аппаратом (особенно в сочетании с графическими) для первого этапа постановки и формализации задач принятия решений в ситуациях с большой начальной неопределенностью, чем и был вызван интерес к этим методам со стороны инженеров и специалистов, занимающихся исследованием и разработкой сложных систем. На их основе разрабатывают языки моделирования и автоматизации проектирования. При применении этих методов следует иметь в виду, что при усложнении языка моделирования, при применении правил произвольной грамматики, или семиотики, трудно гарантировать достоверность получаемых результатов, возникают проблемы <i>алгоритмической разрешимости</i>, <i>парадоксов</i>, которые частично могут быть преодолены с помощью содержательного контроля и корректировки языка на каждом шаге его разви-</p>

Окончание табл. 2.1

Название класса методов и символический образ	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сферы и возможности применения
<p>Графические представления</p> 	<p>Делить характером правил грамматики: если правило не охватывается классификацией формальных грамматик Н. Хомского, то модель относят к семиотической и применяют произвольные правила взаимоотношений между знаками, отображающими компоненты модели, допустимые семиотикой</p>	<p>рения в диалоговом режиме моделирования. При этом разработчик языка моделирования не всегда может формально объяснить его возможности, происходит как бы «выращивание» языка, у которого появляются новые свойства, повышающие его смысловыражающие возможности</p>
<p>Графические представления</p> 	<p>К <i>графическим представлениям</i> здесь отнесены любые графики (<i>диаграммы, гистограммы, графики Ганта</i>, т.е. «время-операция» в прямоугольных координатах и т.д.) и возникшие на основе графических отображений теории: <i>теория графов, теория сетевого планирования и управления</i> и т.п., т.е. все, что позволяет наглядно представить процессы, происходящие в системах, и облегчить таким образом их анализ для человека (лица, принимающего решения). Графики Ганта выполнялись с ручным, а в последующем и с автоматическим управлением. В последующем на этой основе возникли представления совокупности дискретных операций в дискретном времени как множества событий, упорядоченных в двух измерениях, — <i>сетевых структур</i>. Есть и возникшие на основе графических представлений методы, которые позволяют ставить и решать вопросы оптимизации процессов организации, управления, проектирования и являются математическими методами в традиционном смысле. Таковы <i>геометрия, теория графов</i>. Понятие «<i>рафа</i>» в математическом смысле первоначально было введено Л. Эйлером</p>	<p>Графические представления являются удобным средством исследования структур и процессов в сложных системах, средством организации взаимодействия человека и технических устройств (в том числе ЭВМ). На основе сетевых структур возникли прикладные теории: <i>PERT (Program Evaluation and Review Technique</i> — Методика оценки и контроля программ), <i>теория сетевого планирования и управления</i>. Первоначально методы СТУ широко применялись не только в управлении производственными процессами (где достаточно несложно построить сетевой график), но и в <i>системах организационного управления</i>. Однако применение теории СТУ ограничивается ее недостатками, основными из которых являются: 1) теория первоначально была ориентирована на анализ только одного класса графов — направленных (не имеющих обратных связей, т.е. циклов, петель); 2) значительная доля «ручного» труда ЛПР, которая при разработке сетевого графика составляет по оценкам специалистов до 95% общих затрат времени на анализ ситуаций и процессов с использованием СТУ. Разрабатываются методы <i>статистического сетевого моделирования</i> с использованием вероятностных оценок и ненаправленных графов, подходы к автоматизации формирования графов</p>

Разумеется, в табл. 2.1 приведены лишь укрупненные группы-направления, конкретные методы которых только в начальный период развития характеризуются рассмотренными особенностями. Эти направления формализованного представления систем непрерывно развиваются, и в их рамках появляются методы с расширенными возможностями по сравнению с исходными.

Кроме того, в математике постоянно возникают новые направления как бы «на пересечении» методов, отнесенных к приведенным укрупненным группам.

Существуют и другие классификации формальных методов.

В большинстве первоначально применявшихся при исследовании систем классификаций выделяли *детерминированные* и *вероятностные* (статистические) методы или классы моделей, которые сформировались в конце прошлого столетия.

Затем появились классификации, в которых в самостоятельные классы выделились *теоретико-множественные представления, графы, математическая логика* и некоторые новые разделы математики. Например, в классификации современного математического аппарата инженера обычно выделяют: *множества, матрицы, графы, логику, вероятности*¹.

В одной из первых классификаций, предложенных специально для целей системных исследований украинским академиком **А. И. Кухтенко**, наряду с выделением таких уровней математического абстрагирования, как *общееалгебраический, теоретико-множественный, логико-лингвистический*, предлагается рассматривать *информационный* и *эвристический* уровни изучения сложных систем².

В частности, на пересечении аналитических и теоретико-множественных представлений возникла и развивается алгебра групп. Параллельно в рамках алгебры групп и теории множеств начала развиваться *комбинаторика*. Теоретико-множественные и графические представления стали основой возникновения *топологии*. Статистические и теоретико-множественные методы инициировали возникновение теории «размытых» множеств Л. Заде, кото-

¹ Сигорский, В. П. Математический аппарат инженера / В. П. Сигорский. — Киев : Техніка, 1977. — С. 766.

² Кухтенко, А. И. Об аксиоматическом построении математической теории систем / А. И. Кухтенко // Кибернетика и вычислительная техника : сб. статей. — Киев : Наукова думка, 1976. — С. 3—25.

рая, в свою очередь, способствовала развитию нового направления, называемого направлением *нечетких формализаций*.

Отметим, что понятия исходных направлений не всегда сохраняются в неизменном виде; в частности, в теории Л. Заде дается иная трактовка понятия вероятности по сравнению с статистической.

Практически невозможно создать единую классификацию, которая включала бы все разделы современной математики. В то же время приведенные направления помогают понять особенности конкретных методов, использующие средства того или иного направления или их сочетания, а также выбирать методы для конкретных приложений.

Прикладные классификации МФПС. Для удобства выбора методов решения реальных практических задач на базе математических направлений развиваются прикладные направления исследования и предлагаются их классификации.

Так, существуют различные классификации экономико-математических методов, обобщение которых дано в табл. 2.1. Приведенная классификация включает прикладные направления, базирующиеся в основном на использовании аналитических и статистических представлений.

Однако некоторые из них (модели объемного и календарного планирования, потоковые модели) используют графические методы (сетевое моделирование), а иногда для предварительного описания задачи применяются теоретико-множественные представления.

Когда начали широко развиваться автоматизированные системы сбора, хранения и поиска информации разного рода, появилась потребность в разработке классификаций методов работы с информационными массивами. Одна из таких классификаций приведена в табл. 2.2. Эти классификации, напротив, базируются на использовании методов дискретной математики, и в основном — на графических и теоретико-множественных представлениях с элементами математической логики.

Классификации, ориентированные на прикладные направления, можно сопоставить с классификациями математических методов (см. табл. 2.2).

Получаемая двумерная классификация удобна тем, что в нее можно «входить» через прикладные направления («слева») и через математические направления («сверху»), что помогает при орга-

низации взаимодействия проектировщиков и управленческих работников, использующих прикладные классификации, со специалистами-математиками, которые помогут пояснить принципиальные теоретические возможности выбираемых математических методов.

Таблица 2.2

Прикладные классификации методов моделирования	Классификации методов формализованного представления систем					
	аналитические	статистические	теоретико-множественные	логические	лингвистические	графические
<i>Экономико-математические методы</i>						
Производственные функции	+	+				
Балансные модели	+					
Модели объемного планирования			+			
Модели календарного планирования (оптимизация выполнения работ во времени, расписание работ)	+		+			+
Потоковые (транспортные) модели	+					+
Модели распределения и назначения	+					
Модели управления запасами	+	+				
Модели износа и замены оборудования	+	+				
Модели массового обслуживания		+				
Состязательные модели	+	+				
<i>Методы работы с массивами информации</i>						
Методы организации массивов			+	+		+
Методы обработки массивов (сортировка массива, его упорядочение, извлечение выборочной информации по запросу)				+		
Методы поиска информации			+	+	+	

При выборе метода моделирования для постановки принципиально новых задач с большой начальной неопределенностью удобно связать классификацию методов формализованного представления с классификацией систем. В частности, приведенную в табл. 2.2 классификацию методов формализованного представления систем можно связать с классификацией систем по степени организован-

ности: если предварительный анализ проблемной ситуации показывает, что она может быть представлена в виде *хорошо организованных систем*, то методы моделирования выбираются из классов аналитических и графических методов; если специалисты по теории систем и системному анализу рекомендуют представить ситуацию в виде *плохо организованных*, или *диффузных систем*, то следует обратиться прежде всего к статистическому моделированию, а если не удастся доказать адекватность его применения, то нужно искать закономерности в специальных методах (например, в экономике, социологии и т.п.); при представлении ситуации классом *самоорганизующихся систем* следует применять методы дискретной математики, разрабатывая на их основе языки моделирования и автоматизации проектирования, и, как правило, — формировать модель, сочетая методы из групп МАИС и МФПС.

Следует оговорить, что любая классификация методов всегда может быть подвергнута критике. Однако, понимая условность классификации, ее все же нужно создавать. Желательно, чтобы такую классификацию формировал коллектив, разрабатывающий и применяющий модель или методику системного анализа, что позволит в более сжатые сроки выбрать методы моделирования для выполнения того или иного этапа методики системного анализа.

Все методы современной математики не может глубоко знать ни один специалист, однако при выборе метода важно понимать особенности того или иного направления и возможности его использования, а для его реализации пригласить соответствующих специалистов. Конечно, выбор зависит от предшествующего опыта разработчиков и управленческих работников. Однако необходимо понимать, что ошибки в выборе методов моделирования на начальных этапах постановки задачи могут существенно повлиять на дальнейший ход работ, затянуть их или привести в тупик, когда решение вообще не будет получено.

Поэтому кратко охарактеризуем выделенные группы методов, обращая внимание на следующие особенности: *основной понятийный, терминологический аппарат* методов соответствующего класса; *направления (теоретические и прикладные)*, которые возникли и развиваются на базе представлений соответствующего класса; *преимущества и недостатки методов, области (сферы) их применения и ограничения с точки зрения моделирования сложных процессов и проблем*.

Эти группы методов получили наибольшее распространение в практике проектирования и управ-

Аналитические и статистические методы

ления. Правда, для представления промежуточных и окончательных результатов моделирования широко используются графические представления (графики, диаграммы и т.п.). Однако последние являются вспомогательными; основу же модели, доказательства ее адекватности составляют те или иные направления аналитических и статистических представлений. Поэтому, несмотря на то, что по основным направлениям этих двух классов методов в вузах читают самостоятельные курсы лекций, мы все же кратко охарактеризуем их особенности, достоинства и недостатки с точки зрения возможности использования аналитических и статистических методов при моделировании систем.

Аналитические методы. Аналитическими методами в рассматриваемой классификации названы методы, которые отображают реальные объекты и процессы в виде точек (безразмерных в строгих математических доказательствах), совершающих какие-либо перемещения в пространстве или взаимодействующих между собой.

В табл. 2.1 эта особенность аналитических представлений условно иллюстрируется символическим образом, т.е. преобразованием сложной системы посредством оператора $\Phi[S_x]$ в точку, обладающую каким-то поведением, описываемым строгими соотношениями, нередко имеющими силу закона.

Основу понятийного (терминологического) аппарата этих представлений составляют понятия классической математики (*величина, формула, функция, уравнение, система уравнений, логарифм, дифференциал, интеграл* и т.д.).

Аналитические представления имеют многовековую историю развития, и для них характерно не только стремление к строгости терминологии, но и к закреплению за некоторыми специальными величинами определенных букв (например, удвоенное отношение площади круга к площади вписанного в него квадрата $\pi \approx 3,14$; основание натурального логарифма $e \approx 2,7$ и т.д.).

На базе аналитических представлений возникли и развиваются математические теории различной сложности — от аппарата классического *математического анализа* до новых разделов современной математики, (*математическое программирование, теория игр* и т.п.). Эти теоретические направления стали основой многих при-

кладных дисциплин, в том числе теории автоматического управления, теории оптимальных решений и т.д.

При моделировании систем применяется широкий спектр символических представлений, использующих «язык» классической математики. Однако далеко не всегда эти символические представления адекватно отражают реальные сложные процессы, и их в этих случаях, вообще говоря, нельзя считать строгими математическими моделями.

Большинство из направлений математики не содержит средств постановки задачи и доказательства адекватности модели. Адекватность модели доказывается экспериментом, который по мере усложнения проблем становится также все более сложным, дорогостоящим, не всегда бесспорен и реализуем.

В то же время в состав этого класса методов входит относительно новое направление математики — *математическое программирование*, которое содержит средства постановки задачи и расширяет возможности доказательства адекватности моделей.

Идея этого направления была предложена в 1939 г. инженером, а впоследствии за работы в этой области лауреатом Государственной и Нобелевской премий **Л. В. Канторовичем** [39] для решения экономических задач. Эта идея не сразу была воспринята экономистами, но после признания ее за рубежом (независимо ее предложили и развивали **Т. Купманс** и **Дж. Данциг**, которые признали приоритет **Л. В. Канторовича**) получила широкое применение в экономике, развивалась рядом отечественных ученых, в том числе **В. В. Новожиловым**, **С. А. Соколицыным**, **Б. И. Кузиным**, **В. Н. Юрьевым** [47]. В настоящее время экономику невозможно представить без экономико-математических методов, основанных на математическом программировании.

Привлекательность методов математического программирования для решения слабо формализованных задач (каковыми, как правило, являются задачи планирования, распределения работ и ресурсов, загрузки оборудования и другие задачи управления современным предприятием на начальном этапе их постановки) объясняется рядом особенностей, отличающих эти методы от методов классической математики.

Для пояснения этих особенностей рассмотрим упрощенный пример.

Пример

Предположим, что в трех цехах (Ц1, Ц2, Ц3) изготавливается два вида изделий И1 и И2. Известна загрузка каждого цеха a_i (оцениваемая в данном случае в процентах) при изготовлении каждого из изделий и прибыль (или цена, объем реализуемой продукции в рублях) c_i от реализации изделий. Требуется определить, сколько изделий каждого вида следует производить при возможно более полной загрузке цехов, чтобы получить за рассматриваемый плановый период максимальную прибыль или максимальный объем реализуемой продукции.

Такую ситуацию удобно отобразить в виде таблицы (табл. 2.3), которая подсказывает характерную для задач математического программирования форму представления задачи, т.е. целевую функцию (в данном случае определяющую максимизацию прибыли или объема реализуемой продукции).

$$F = \sum_{i=1}^n c_i x_i = 240 x_1 + 320 x_2 \rightarrow \max, \quad (2.1)$$

и ряд ограничений (в данном случае диктуемых возможностями цехов, т.е. их предельной 100%-ной загрузкой)

$$\begin{aligned} 5x_1 + 4x_2 &\leq 100; \\ 1,6x_1 + 6,4x_2 &\leq 100; \\ 2,9x_1 + 5,8x_2 &\leq 100. \end{aligned} \quad (2.2)$$

В данном случае ограничения однородны и их можно записать короче:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \leq B_j. \quad (2.2a)$$

Таблица 2.3

Изделия	Загрузка цеха a_i , %			Цена изделия, руб.
	Ц1	Ц2	Ц3	
И1	5	1,6	2,9	240
И2	4	6,4	5,8	320
Максимальная загрузка, %	100	100	100	—

В общем случае может быть несколько групп подобных ограничений (например, по имеющимся материалам разного вида, себестоимости, заработной плате рабочих и т.п.).

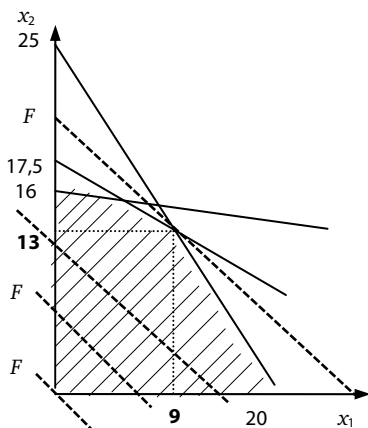


Рис. 2.4

Графическое решение задачи приведено на рис. 2.4.

Ограничения определяют область допустимых решений, а наклон прямой, отображающей целевую функцию, — точку последнего ее пересечения с областью допустимых решений, которая и является наилучшим решением задачи (оптимумом). В данном случае $x_1 = 9$, $x_2 = 13$.

В случае большего числа разнородных ограничений графическая интерпретация задачи затруднена, поэтому используются специальные методы (например, симплекс-метод), пакеты прикладных программ, их реализующие. В зависимости от вида целевой функции и принципов организации решения выделяют направления математического программирования: *линейное* (при линейном характере целевой функции), *нелинейное* (целевая функция нелинейна); *целочисленное* (ограничение на характер переменных), *динамическое* и т.п. Эти направления имеют специфические особенности и методы решения. Но основная суть постановки задачи сохраняется.

Анализ хода постановки и решения задачи позволяет выявить следующие основные особенности математического программирования:

- введение понятий *целевая функция*, *ограничения*, ориентация на их формирование являются фактически некоторыми *средствами постановки задачи*; причем эти средства можно использовать, даже если не удастся сформировать систему непротиворечивых ограничений или записать целевую функцию в формальном виде; поскольку в процессе проведения

исследования можно уточнить представление о проблемной ситуации и, таким образом, поставить задачу хотя бы в первом приближении;

- при использовании методов математического программирования появляется *возможность объединения* в единой модели *разнородных критериев* (разных размерностей, предельных значений), что очень важно для отображения реальных проектных и производственных ситуаций;
- модель математического программирования допускает (и даже ориентирует на это) *выход на границу области определения переменных* (в то время, как методы классической математики требуют введения строгих начальных и граничных условий, значений которых переменная не может принимать в процессе анализа модели);
- изучение методов решения задач математического программирования позволяет получить представление о пошаговом приближении к решению, т.е. о *пошаговом алгоритме* получения результата моделирования;
- графическая интерпретация задачи дает наглядное представление об области допустимых решений (которая на рис. 2.4 заштрихована), что помогает в практических ситуациях даже в тех случаях, когда не удастся получить формальное отображение целевой функции и строго решить задачу математического программирования.

Благодаря рассмотренным особенностям, методы математического программирования можно кратко охарактеризовать как методы, имеющие в отличие от классической математики некоторые средства постановки задачи. В частности, термин *целевая функция* часто используется даже в тех случаях, когда очевидна невозможность формального установления детерминированных взаимосвязей между компонентами и целями системы. Помогает в постановке задачи и понятие *области допустимых решений*. Этим объясняется популярность рассматриваемого направления; однако получаемые в таких случаях модели уже не относятся к моделям математического программирования и аналитическим методам.

Резюмируя, еще раз обратим внимание на то, что аналитические методы применяют в тех случаях, когда свойства системы

можно отобразить с помощью детерминированных величин или зависимостей, т.е. когда знания о процессах и событиях в некотором интервале времени позволяют полностью определить их поведение вне этого интервала. Эти методы используются при решении задач движения и устойчивости, оптимального размещения, распределения работ и ресурсов, выбора наилучшего пути, оптимальной стратегии поведения, в том числе в конфликтных ситуациях и т.п.

В то же время при практическом применении аналитических представлений для отображения сложных систем следует иметь в виду, что они требуют установления всех детерминированных связей между учитываемыми компонентами и целями системы в виде аналитических зависимостей. Для сложных многокомпонентных, многокритериальных систем получить требуемые аналитические зависимости крайне трудно. Более того, даже если это и удастся, то практически невозможно доказать *правомерность применения таких выражений*, т.е. *адекватность модели рассматриваемой задаче*. В таких ситуациях следует обратиться к другим методам моделирования.

Статистические методы. Статистические представления сформировались как самостоятельное научное направление в середине прошлого века (хотя возникли значительно раньше). Основу их составляет отображение явлений и процессов с помощью случайных (*стохастических*) событий и их поведений, которые описываются соответствующими вероятностными (*статистическими*) характеристиками и *статистическими закономерностями*.

Термин «стохастические» уточняет понятие «случайный», которое в быденном смысле принято связывать с отсутствием причин появления событий, с появлением не только повторяющихся и подчиняющихся каким-то закономерностям, но и единичных событий. Процессы же, отображаемые статистическими закономерностями, должны быть жестко связаны с заранее заданными, определенными причинами, а «случайность» означает, что они могут появиться или не появиться при наличии заданного комплекса причин.

Статистические отображения системы в общем случае (по аналогии с аналитическими) в табл. 2.1 представлены символическим образом, как бы в виде «размытой» точки (размытой области) в n -мерном пространстве, в которую переводит учитываемые в

модели свойства системы оператор $\Phi[S_x]$. Границы области заданы с некоторой вероятностью p («размыты») и движение точки описывается некоторой случайной функцией.

Напомним, что под вероятностью события понимается $p(A) = m/n$ (где m — число появлений события A ; n — общее число опытов), если при $n \rightarrow \infty$ $(m/n) \rightarrow \text{const}$.

Закрепляя все параметры этой области, кроме одного, получим «срез» по линии $a-b$, смысл которого — воздействие данного параметра на поведение системы, которое можно описать статистическим распределением по этому параметру, одномерной статистической закономерностью. Аналогично можно получить двумерную, трехмерную и т.д. картины статистического распределения.

Статистические закономерности можно представить в виде *дискретных* случайных величин и их вероятностей или в виде *непрерывных* зависимостей распределения событий, процессов.

Для *дискретных* событий соотношение между возможными значениями случайной величины x_i и их вероятностями p_i называют законом распределения и либо записывают в виде ряда (табл. 2.4), либо представляют в виде зависимостей $F(x)$ (рис. 2.5, а) или $p(x)$ (рис. 2.5, в).

Таблица 2.4

x	x_1	x_2	...	x_i	...	x_n
$p(x)$	p_1	p_2	...	p_i	...	p_n

При этом

$$F(x) = \sum_{x_i \leq x} p_i(x_i). \quad (2.3)$$

Для *непрерывных* случайных величин (процессов) закон распределения представляют (соответственно *дискретным* законам) либо в виде *функции распределения* (*интегральный* закон распределения — рис. 2.5, б), либо в виде *плотности вероятностей* (*дифференциальный* закон распределения — рис. 2.5, г). В этом случае

$$p(x) = dF(x)/dx \text{ и } \Delta F(x) = p(x)\Delta x,$$

где $p(x)$ — вероятность попадания случайных событий в интервал от x до $x + \Delta x$.

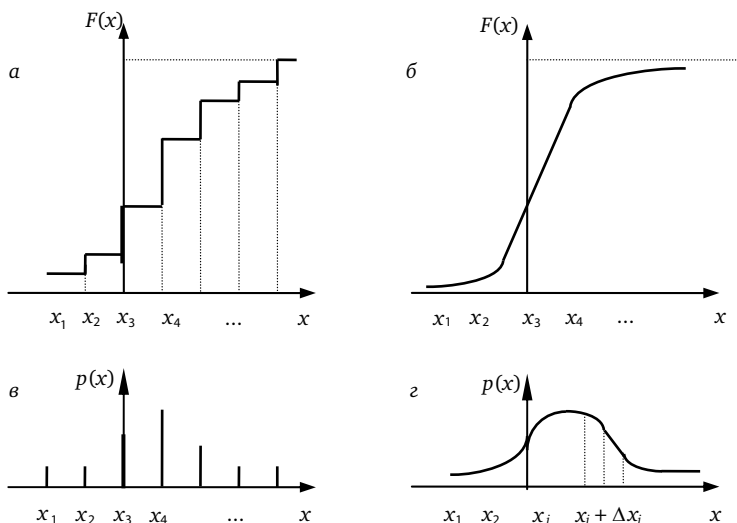


Рис. 2.5

Закон распределения является удобной формой статистического отображения системы.

Однако получение закона (даже одномерного) или определение изменений этого закона при прохождении через какие-либо устройства или среды представляет собой трудную, часто невыполнимую задачу. Поэтому в ряде случаев пользуются не распределением, а его характеристиками — начальными и центральными моментами.

Наибольшее применение получили:

- 1-й начальный момент — *математическое ожидание* или *среднее значение* случайной величины:

$$m_x = \sum_{i=1}^n x_i p_i(x_i) \text{ — для дискретных величин;} \quad (2.4)$$

$$m_x = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx \text{ — для непрерывных величин;}$$

- 2-й центральный момент — *дисперсия* случайной величины:

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i(x_i) \text{ — для дискретных величин;} \quad (2.5)$$

$$\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 p(x) dx \text{ — для непрерывных величин.}$$

Для полной группы несовместных событий имеют место условия нормирования:

для функции распределения

$$\sum_{i=1}^n p_i(x_i) = 1; \quad (2.6a)$$

для плотности вероятности

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(x)dx = F(\infty) - F(-\infty) = 1 - 0 = 1. \quad (2.6b)$$

В монографиях и учебниках применяют тот или иной вид зависимостей, приведенных на рис. 2.5, более подходящий для соответствующих приложений.

На практике иногда используется не дисперсия σ_x^2 , а среднее квадратическое отклонение σ_x .

Связь между случайными величинами в общем случае характеризуется *ковариацией* — моментом связи; для двумерного распределения ковариация обозначается $\text{cov}(x, y)$, или m_{xy} , или $M[(x - m_x)(y - m_y)]$.

Использование ковариации в качестве меры связи случайных переменных не всегда удобно, так как величина ковариации зависит от единиц измерения, в которых измерены случайные величины. При переходе к другим единицам измерения ковариация тоже изменяется, хотя степень связи случайных переменных, естественно, остается прежней. Поэтому в качестве меры связи признаков нередко используют ковариацию нормированных отклонений — коэффициент корреляции

$$r = \text{cov}(x', y') - M \left[\frac{(x - m_x)(y - m_y)}{\sigma_x \sigma_y} \right] M, \quad (2.7)$$

где $x' = (x - m_x)/\sigma_x$, $y' = (y - m_y)/\sigma_y$ — нормированные отклонения; σ_x , σ_y — среднеквадратические отклонения.

Коэффициент корреляции может представляться и другими способами.

Практическое применение получили в основном одномерные распределения, что связано со сложностью получения статистических закономерностей и доказательства адекватности их приме-

нения для конкретных приложений, которое базируется на понятии *выборки*.

Под *выборкой* понимается часть изучаемой совокупности явлений, на основе исследования которой получают статистические закономерности, присущие всей совокупности и распространяемые на нее с какой-то вероятностью.

Для того чтобы полученные при исследовании выборки закономерности можно было распространить на всю совокупность, выборка должна быть *представительной* (*репрезентативной*), т.е. обладать определенными качественными и количественными характеристиками. Качественные характеристики связаны с содержательным аспектом выборки, т.е. с определением, являются ли элементы, входящие в нее, элементами исследуемой совокупности, правильно ли отобраны эти элементы с точки зрения цели исследования (с этой точки зрения выборка может быть *случайной*, *направленной* или *смешанной*). Количественные характеристики представительности выборки связаны с определением объема выборки, достаточным для того, чтобы на основе ее исследования можно было делать выводы о совокупности в целом; уменьшение объема выборки можно получить на основе *эргодического* свойства, т.е. путем увеличения длительности статистических испытаний (в большинстве практических случаев вопрос о количественных характеристиках выборки является предметом специального исследования).

На базе статистических представлений развивается ряд математических теорий, которые можно разделить на четыре основные группы:

- *математическая статистика*, объединяющая различные методы статистического анализа (регрессионный, дисперсионный, корреляционный, факторный и т.п.);
- *теория статистических испытаний*;

основой этой теории является метод Монте-Карло; развитием — *теория статистического имитационного моделирования*;

- *теория выдвижения и проверки статистических гипотез*;

возникла для оценки процессов передачи сигналов на расстоянии; базируется на общей *теории статистических решающих функций А. Вальда*; важным частным случаем теории является *байесовский подход* к исследо-

ванию процессов передачи информации, процессов общения, обучения и др. ситуаций в организационных системах;

■ *теория потенциальной помехоустойчивости;*

обобщает последние два направления *теории статистических решений*, в рамках которой, в свою очередь, возник ряд интересных и полезных для практики направлений; начала теории положены работами **В. А. Котельникова**, проводимыми независимо от теории решающих функций.

Перечисленные направления в большинстве своем носят теоретико-прикладной характер и возникали из потребностей практики. На их основе развивается ряд прикладных научных направлений: *экономическая статистика, теория массового обслуживания, статистическая радиотехника, статистическая теория распознавания образов, стохастическое программирование*, новые разделы *теории игр* и т.п.

Для прикладной информатики представляет особый интерес развивающаяся на базе статистических представлений *информетрия* [29], закономерности которой особенно важны для прикладной информатики.

Расширение возможностей отображения сложных систем и процессов по сравнению с аналитическими методами можно объяснить тем, что применение статистических представлений процесс постановки задачи как бы частично заменяется статистическими исследованиями, позволяющими, не выявляя все детерминированные связи между изучаемыми объектами (событиями) или учитываемыми компонентами сложной системы, на основе выборочного исследования (исследования репрезентативной выборки) получать статистические закономерности и распространять их на поведение системы в целом.

В то же время не всегда может быть определена репрезентативная выборка, доказана правомерность применения полученных на ее основе статистических закономерностей. Если не удастся доказать репрезентативность выборки или для этого требуется недопустимо большое время, то применение статистических методов может привести к неверным результатам. В таких случаях целесообразно обратиться к методам, объединяемым под общим названием — *методы дискретной математики*, которые помогают разрабатывать языки моделирования, модели и методики постепенной формализации процесса принятия решения.

Методы дискретной математики

Характеризуемые ниже методы возникли как самостоятельные направления и первоначально развивались параллельно и независимо друг от друга. Но обобщающий аппарат теоретико-множественных представлений оказался настолько удобным средством пояснения основных понятий, а часто и доказательства теорем в математической логике, математической лингвистике и даже в теории графов, что постепенно все эти методы стали объединять в единую область — *дискретную математику*.

Необходимость в использовании методов дискретной математики возникает в тех случаях, когда алгоритм, который всегда в конечном итоге желательно получить для обеспечения повторяемости процесса принятия решения, не удастся сразу представить с помощью аналитических или статистических методов. В этих случаях *теоретико-множественные, логические, лингвистические или графические методы* помогают зафиксировать в алгоритме опыт или эвристики ЛППР.

В принципе для отражения в алгоритме эвристик допустимы любые неформальные отображения. Однако такие эвристические алгоритмы широкого класса — от *ГСН-алгоритмов* (ГСН — «грубая сила и невежество») до «*хитрых*», «*жадных*» и т.п. алгоритмов (название их соответствует виду эвристики, определяющей способ борьбы с перебором при моделировании решения) часто оказываются далеко неэффективными, а в ряде случаев не существует алгоритма, который позволил бы получить решение не только с наименьшей трудоемкостью, но и вообще в обозримые сроки. И здесь большую помощь в предварительной оценке реализуемости алгоритма, во введении некоторых формальных правил преобразования, позволяющих применить ЭВМ и ускорить получение решения, могут оказать методы дискретной математики.

Практики и инженеры не любят изучать процессы получения формул и методов, теоремы и, тем более, их доказательства. А книги по дискретной математике написаны, как правило, с использованием специфических символов и приемов, отличных от классической математики, которые используются в школе и в традиционных курсах высшей математики для вузов. В специальных монографиях и даже в учебниках по теории множеств, математической логике и математической лингвистике обычно вводятся символика и правила преобразования и довольно длительное время рассмат-

риваются возможности этих правил, доказываются соответствующие теоремы без иллюстрации практической потребности в них. В то же время при утилитарном подходе к математике знание доказательств ничего не добавляет к знанию результата: важно знать, *что* и *зачем* применять.

Поэтому для прикладных целей удобно использовать справочные материалы, являющиеся «выжимками» из обширной литературы по дискретной математике, которые представлены в форме табл. 2.5—2.7. В этих таблицах собраны основные отношения теории множеств, функции и теоремы математической логики и т.д. В ряде случаев такие таблицы могут помочь в выборе метода моделирования и более глубоком ознакомлении с соответствующим направлением дискретной математики.

Кроме того, в области управления, проектирования сложных технических и производственных комплексов все чаще главной проблемой становится создание принципиально новых, нетривиальных моделей, не по аналогии. В таких случаях математика нужна уже не для выбора готового метода расчета, а как средство мышления, формирования понятий.

Такое владение математикой, в том числе и дискретной, требует более глубокого понимания сути методов, умения оценить, какой из них лучше подходит для формирования модели в конкретной ситуации.

Излагаемые сведения следует рассматривать лишь как введение в сложный мир дискретной математики, которое имеет целью облегчить изучение специальной литературы. Некоторые понятия даны несколько подробнее только для того, чтобы привести в последующих главах прикладные примеры, позволяющие проиллюстрировать возможность представления одной и той же задачи несколькими методами и помочь пояснить проблему выбора методов моделирования сложных систем и проблемных ситуаций с начальной неопределенностью.

Излагаемая ниже характеристика методов дискретной математики поможет углубить сравнительный анализ МФПС, приведенный в табл. 2.1, которую следует перечитать после ознакомления с материалом данного раздела, а лучше — и с обращением к рекомендуемой литературе.

Теоретико-множественные представления. Базируются на понятиях «множество», «элементы множества», «отношения на множествах».

Понятие «множество» относится к числу интуитивно постигаемых понятий, которым трудно дать определение. Это понятие содержательно эквивалентно понятиям «совокупность», «собрание», «ансамбль», «коллекция», «семейство», «класс» и другим обобщающим понятиям.

Один из основоположников теории множеств¹ **Георг Кантор** определял множество как *«многое, мыслимое нами как единое»*.

Множества могут задаваться следующими способами:

1) списком, *перечислением (интенционально)*; например,

$$\{a_i\}, \text{ где } i = 1, \dots, n \quad (2.8a)$$

или

$$\langle a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n \rangle, \quad (2.8б)$$

где $a_i \in A$; \in — знак вхождения элементов в множество;

2) путем указания некоторого *характеристического свойства* A (*экстенционально*). Например, «множество натуральных чисел», «множество рабочих данного завода», «множество планет солнечной системы», «множество A » и т.д.

В основе теоретико-множественных преобразований лежит принцип перехода от одного способа задания множества к другому:

$$A = \langle a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n \rangle \quad (2.9a)$$

или

$$\langle a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n \rangle \rightarrow A. \quad (2.9б)$$

Переход от интенционального способа задания множества к экстенциональному называют принципом *свертывания*.

В множестве могут быть выделены *подмножества*. Вхождение элементов в любое множество или подмножество описывается зна-

¹ Независимо от **Георга Кантора** математическую теорию бесконечных множеств создал чешский ученый **Бернард Больцано**, основной труд которого был опубликован много лет спустя после его смерти.

ком «принадлежит» — \in , а вхождение подмножества в множество записывается так: $B \subset A$.

Это означает, что все элементы подмножества B являются одновременно элементами множества A (рис. 2.6):

$$\begin{array}{llll} b_1 \in B & b_1 \in A & & \\ b_2 \in B & b_2 \in A & & \\ \dots & \dots & \Rightarrow & B \subset A \\ b_n \in B & b_n \in A & & \end{array}$$

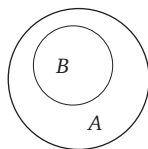


Рис. 2.6

Важным понятием является понятие «пустого множества» — множества, в котором в данный момент нет ни одного элемента: $D = \emptyset$.


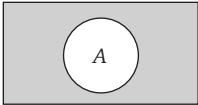

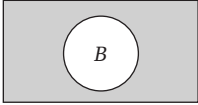
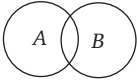

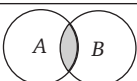
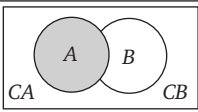
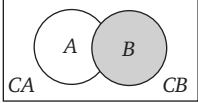
При использовании теоретико-множественных представлений в соответствии с концепцией Кантора можно вводить любые отношения. При уточнении этих отношений применительно к множествам удобно пользоваться наглядными диаграммами Эйлера — Венна. Примеры таких диаграмм для операции объединения (\cup), пересечения (& или \cap), дополнения (отрицания, обозначаемого знаком «—» над именем множества, либо знаком « \neg » перед именем множества или его элемента) приведены в табл. 2.5.

Теории, развивавшиеся на базе теоретико-множественных представлений, первоначально использовали отношения, подобные функциям алгебры логики, и в первую очередь — *бинарной алгебры логики Буля* (основные функции которой приводятся далее в табл. 2.6).

В большинстве работ теоретико-множественные представления излагаются на примере теории чисел, для развития которой достаточным является использование основных элементарных отношений: $\in, \notin, \subset, \supset, \cup, \cap, \neg$.

По мере приложения теоретико-множественных представлений к более сложным проблемам отношения начинают заимствоваться из математической лингвистики (которую теория множеств, в свою очередь, помогает развивать). При отображении особо сложных проблемных ситуаций с неопределенностью формируемую или исследуемую систему отображают множествами с отношениями произвольного типа. Так, например, при применении теоретико-множественных представлений в ситуационном моделировании используются отношения «быть над», «быть под», «находиться рядом» и т.п., которые допустимо обозначать в разрабатываемом на этой основе языке моделирования произвольными символами, удобными для ЛПР.

Таблица 2.5

Наименование	Диаграмма	Обозначение
Множество A		A
Дополнение C множества A		CA или \overline{A} , или $\neg A$
Множество B		B
Дополнение C множества B		CB или \overline{B} , или $\neg B$
Множество A , множество B и их дополнения C		A, B, CA, CB
Объединение A и B		$A \cup B$ или $CA \cap CB$
Пересечение A и B		$A \cap B$ или $CA \cup CB$
Пересечение множества A и дополнения множества B		$A \cap CB$
Дополнение объединения множества A и дополнения множества B		$C(A \cup B)$

Особого внимания заслуживает преобразование множеств путем установления взаимоотношений между элементами разных исходных множеств.

Из двух или нескольких множеств можно сформировать путем установления отношений между элементами этих множеств новое множество. Это новое множество, как правило, следует рассматривать как множество, состоящее из принципиально новых элементов.

Пример

Объединяя элементы из множества «конденсаторы C » и множества «катушки индуктивности L », получим новое множество «колебательные контуры KK » (если, конечно, введенное отношение между исходными элементами отображает необходимые действия по объединению соответствующих выводов конденсаторов и катушек индуктивности). Аналогично можно отобразить процесс бракосочетания: из множеств «женщины Y » и «невесты G » в ЗАГСе путем соответствующей операции (процедуры регистрации брака) формируется множество «Семьи C », элементы которого $c_x = \langle y_i r_k g_j \rangle$, где $y_i \in Y$, $g_j \in G$, $r_k \in R_b$ (R_b — множество взаимоотношений между Y и G , имеющих принципиально новый смысл для общества).

При этом важно отметить, что не только установление какого-либо вида специальных отношений, как в этих приведенных примерах, но и формирование элементов нового множества путем простого «помещения рядом» элементов исходных множеств позволяет получать эффект появления нового смысла, что обеспечивается дополнительным осмыслением взаимоотношений человеком на основе его предшествующего опыта. Это важно при моделировании ситуаций с большой исходной неопределенностью, когда неизвестен характер взаимоотношений между элементами разных групп (подмножеств), выявленных для отображения системы, проблемной ситуации.

Этот эффект будет использован в последующих главах при моделировании процесса структуризации целей (см. гл. 5), морфологическом моделировании (см. гл. 4).

При использовании таких преобразований необходимо предварительно оценивать перебор. При получении нового множества из элементов двух, трех или более исходных подмножеств с математической точки зрения имеет место операция *размещения с повторениями*, при использовании которой число получаемых компонентов равно

$$K = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n, \quad (2.10)$$

где k_1, k_2, \dots, k_n — количества элементов в M_1, M_2, \dots, M_n подмножествах, что дает существенно меньший перебор, чем формирование сочетаний¹.

¹ Число сочетаний $C_m^n = n! / m!(n - m)!$

Между теоретико-множественными описаниями разных систем или их частей можно устанавливать соответствия. Для характеристики сходства множеств (подмножеств) можно использовать понятия *гомоморфизма*, *изоморфизма*, *автоморфизма*, отношения *рефлексивности*, *симметричности*, *транзитивности*, заимствованные теорией множеств из других разделов математики.

Для отображения систем важными понятиями являются понятия *ординарного* и *экстраординарного* множеств. Если множество сформировано из геометрических фигур — например, треугольников, — и принято условие, что формирование нового множества осуществляется в той же плоскости, то полученное новое множество будет также плоской геометрической фигурой, а, возможно, даже и треугольником. Такие множества относятся к классу ординарных. Аналогично можно посмотреть на множество колебательных контуров, которые так же, как конденсаторы и катушки индуктивности, являются элементами радиотехнических устройств.

Однако, учитывая принципиально новые свойства колебательного контура, можно эту же ситуацию трактовать как формирование экстраординарного множества с принципиально новыми свойствами элементов. При формировании экстраординарного множества в примере с семьей изменяются не только свойства множества, но и суть и даже наименования исходных элементов («жених» — «муж», «невеста» — «жена»).

Важным понятием для освоения и использования теоретико-множественных представлений является понятие *континуума* (от лат. *continuum* — непрерывный) — связного обобщающего множества (т.е. как бы единого непрерывного пространства), в рамках которого осуществляются операции над множествами (их изъятие, добавление новых, объединение, пересечение и т.п.).

В простейших случаях континуум может быть задан границей, которая не изымается даже в случае, если исключаемое множество (подмножество) вплотную смыкается с этой границей (в примерах, приведенных в табл. 2.5, роль континуума играет прямоугольник). Роль континуума может играть пустое множество, имеющее значительно большие потенциальные размеры, чем входящие в него подмножества. Но в общем случае (особенно при отображении открытой системы, в которую могут постоянно включаться новые подмножества с непредсказуемыми границами), континуум формируется как внешняя граница всех пересекающихся или другим образом взаимодействующих подмножеств, с помощью которых отображается система.

Понятно, что в случае моделирования развивающихся систем континуум постоянно видоизменяется, и его изменения, в том числе сохранение связности, нужно постоянно уточнять.

Благодаря тому, что в соответствии с первоначальной концепцией Кантора при применении теории множеств допустимо введение любых произвольных отношений, теоретико-множественные представления стали использоваться как обобщающий язык при сопоставлении различных направлений математики и других дисциплин, явились основой для возникновения новых научных направлений или развития существующих.

В частности, первой теорией, для которой на основе теоретико-множественных представлений были получены новые результаты, была *теория чисел*. Теоретико-множественные представления сыграли большую роль в становлении *комбинаторики*, *топологии*, в разработке *теории «размытых» множеств*; на их основе стали создаваться первые *информационно-поисковые языки*, *языки автоматизации моделирования*. На теоретико-множественных представлениях базируется вариант *математической теории систем* М. Месаровича [54].

Использование теоретико-множественных представлений при моделировании систем позволяет организовать взаимодействие и взаимопонимание между специалистами различных областей знаний. С их помощью можно записать различные определения системы (что сделано в гл. 1) и выбрать из них то, которое в наибольшей степени отражает концепцию исследователей, проектировщиков.

Конкретная система при первоначальном описании может быть отображена теоретико-множественной формулой, включающей наборы различных элементов (например, A, B, C), отношений между ними (R), которые также могут быть разделены на подмножества (R_1, R_2, R_3 и т.д.), свойств элементов Q_A, Q_B, Q_C и свойств отношений Q_R . Могут быть учтены множества входных воздействий X и выходных результатов Y :

$$S = \langle A, B, C, R, Q_A, Q_B, Q_C, Q_R, X, Y \rangle. \quad (2.11)$$

Затем, по мере накопления сведений о системе, теоретико-множественная формула (2.11) может измениться и отразить взаимоотношения между группами множеств

$$S = \langle \{x_i\}R_1\{a_j\}R_2\{b_k\}R_3\{c_d\} \rangle. \quad (2.12)$$

В дальнейшем описание может уточняться: могут быть введены подмножества и отношения между ними и их элементами; деление на подмножества может быть повторено неоднократно, и таким образом с помощью теоретико-множественных представлений возможно отображение многоуровневой структуры; отношения могут быть уточнены в виде набора правил преобразования множеств или подмножеств и т.п.

Как было сказано ранее, при использовании теоретико-множественных представлений в принципе можно вводить любые отношения. Однако при произвольных отношениях, в формализованном с их помощью описании проблемной ситуации, довольно быстро могут обнаружиться неразрешимые противоречия — *парадоксы*, *апории* или *антиномии*, что не позволяет оперировать с получаемыми теоретико-множественными моделями таким же образом, как с классическими математическими соотношениями, и быть уверенными в достоверности получаемых результатов.

Пример

В качестве примеров парадоксов приводят обычно *парадокс лжеца*, заключающейся в том, что ему нельзя дать положительный ответ на вопрос: «Ты лжешь?» Или *парадокс парикмахера*, получившему распоряжение «брить всех мужчин в полку, которые не бреются сами».

Парадокс парикмахера состоит в неразрешимом противоречии: парикмахер X одновременно принадлежит множеству мужчин M_1 , которые не бреются сами и которых по распоряжению он *обязан брить*, и множеству тех мужчин M_2 , которые *бреются сами* и которых согласно распоряжению он брить не должен. Эти множества M_1 и M_2 не пересекаются и не входят друг в друга, т.е. имеет место: $X \in M_1$, $X \in M_2$, $M_3 = M_1 \cap M_2 = \emptyset$, что невозможно.

Примеры парадоксов легко можно найти во многих высказываниях неформализованного текста. Например, в высказывании: «Ты должен сам любить меня», — парадокс заключается в том, что если человек «должен» любить, то делает это уже «не сам». Если он «сам» любит — то «не должен», а любит без принуждения.

На этом свойстве текстов основаны некоторые психологические тесты. Эта принципиальная особенность текстов не позволяет однозначно отразить с их помощью проблемные ситуации и требует перевода текстов в формализованные описания с использованием специализиро-

ванных знаковых систем, языков, в которых по возможности устранены парадоксы. Для разработки таких языков могут быть использованы теоретико-множественные представления, которые позволяют выявлять и устранять парадоксы, ограничивая при этом свободу выбора отношений, т.е., строго говоря, огрубляя качественное описание, уменьшая его полноту. Однако такие ограничения при применении теоретико-множественных представлений можно делать осознанно, фиксировать и пересматривать при необходимости.

Математическая логика. Базовыми понятиями математической логики являются высказывание, предикат, логические функции (операции) кванторы, логический базис, логические законы (законы алгебры логики).

Под *высказыванием* в алгебре логики понимается повествовательное предложение (суждение), которое характеризуется определенным значением истинности.

В простейших случаях используется два значения истинности: «истинно» — «ложно», «да» — «нет», «1» — «0». Такая алгебра логики, в которой переменная может принимать только два значения истинности, называется бинарной алгеброй логики Буля (по имени ее создателя).

Предикат — выражение, грамматически имеющее форму высказывания, но содержащее переменные некоторых подмножеств, на которых они определены.

При замене переменных элементами соответствующего подмножества предикат обращается в высказывание. Обычно переменная стоит в предикативной части предложения, лежащего в основе высказывания (например, переменная X в выражении «быть X -м карандашом», где X может принимать значения «красным», «синим» и т.д.), но в последующем это стало не обязательным, и возможны предикаты типа « X — река», где X = «Волга» или X = «Днепр» и т.д..

Частным случаем предиката является пропозиционная функция — функция одной или нескольких переменных, принимающих значения в множестве, состоящем из двух элементов «1» — «0».

Применение переменных высказываний служит для выражения общности и позволяет формулировать законы алгебры логики для любых высказываний данного вида.

Из одного или нескольких высказываний или предикатов можно образовать новые высказывания или предикаты. Объединение про-

стых высказываний в сложные производится без учета смысла этих высказываний (предикатов) на основе определенных логических правил (операций, функций).

Число простейших логических функций в конкретной алгебре логики зависит от количества значений истинности n :

$$N = 2^{2^n}. \quad (2.13)$$

Для двузначной булевой алгебры логики N определяется числом возможных двоичных наборов ($n = 2$): $N = 16$. При $n = 3$ можно образовать $N = 256$ логических функций. Функции бинарной алгебры логики приведены в табл. 2.6, в которой собраны формы записи и наименования функций, встречающиеся в различных учебниках и монографиях по математической логике.

Таблица 2.6

Способы алгебраической записи логических функций	Основные названия логической функции (операции, фактора)	Двоичная форма записи	Условные названия
$F_1 \equiv 0$	Тождественный нуль. Тождественно ложно	0000	Любое ложно
$F_2 \equiv 1$	Тождественная единица. Тождественно истинно	1111	Любое истинно
$F_3 = a$	Утверждение первого аргумента (переменного воздействия). Повторение первого аргумента. Доминация первого переменного	1100	Как a
$F_4 = b$	Утверждение второго аргумента (переменного воздействия). Повторение второго аргумента (переменного). Доминация второго переменного	1010	Как b
$F_5 = a \cup b$ $A \vee b; a \div b$	Дизъюнкция. Логическая сумма. Объединение. Простая (неразделительная) дизъюнкция. Сборка. Абстрагирование. Комбинация. Автономия. Констелляция	1110	И/или Или, хотя бы
$F_6 = a \cap b; a \wedge b;$ $a \& b; a \cdot b; a \times b$	Конъюнкция. Логическое произведение. Перечисление. Совпадение. Соединенное суждение. Частное утвердительное суждение	1000	И И И
$F_7 = a \equiv b; a \sim b;$ $a \leftrightarrow b; a = b$	Эквивалентность. Равнозначность. Материальная эквивалентность. Взаимность. Солидарность. Комплементарность. Интердепенденция	1001	Как

Окончание табл. 2.6

Способы алгебраической записи логических функций	Основные названия логической функции (операции, фактора)	Двоичная форма записи	Условные названия
$F_8 = a \supset b;$ $a \rightarrow b; a > b$	Импликация. Следование. Материальная импликация. Общеутвердительное суждение. Селекция. Спецификация. Детерминация. Обратная антиимпликация	1011	Если то Только
$F_9 = a b;$ $a \cup b; a \vee b$	Функция Вэбба. Операция Пирса. Отрицание дизъюнкции. Обратная дизъюнкция. Антидизъюнкция. Обратная логическая сумма. Гетерофазис. Недизъюнкция. Отрицание комбинации, автономии и т.д. Антиконstellляция	0001	Не или Ни ни
$F_{10} = a/b; a \cap b;$ $a \wedge b; a \cdot b; a \times b;$ $a \& b$	Функция Шеффера. Операция Шеффера. Штрих Шеффера. Отрицание конъюнкции. Обратная конъюнкция. Неконъюнкция. Обратное логическое произведение. Обратное совпадение. Альтернативное отрицание. Несовместимость. Общеотрицательное суждение	0111	Не и Или не
$F_{11} = a \neq b; a \equiv b;$ $a \oplus b; a \oplus b$	Отрицание равнозначности. Функция разномименности. Функция сложения по модулю. Неравнозначность. Строгая дизъюнкция. Исключающая дизъюнкция. Разделительная дизъюнкция. Отрицание взаимозависимости	0110	Не как Или или
$F_{12} = a < b;$ $a \subset b; a \leftarrow b$	Обратная импликация. Обратное следование. Обратная селекция. Обратная спецификация. Обратная детерминация	1101	Или не
$F_{13} = \neg a; a \sim a;$ $a^c; ca$	Отрицание первого аргумента. Инвертация первого аргумента (переменного). Дополнение к первому переменному. Профазис	0011	Не a
$F_{14} = \bar{b}; \neg b; b';$ $\sim b; b^c cb$	Отрицание второго аргумента. Инвертация второго аргумента (переменного). Дополнение ко второму переменному. Обратный антифазис	0101	Не b
$\supset F_{15} = a \bar{b};$ $A^D b; a \quad b; a \rightarrow b$	Отрицание материальной импликации. Материальная антиимпликация. Антисовпадение. Разделительное суждение. Отрицание селекции. Антиселекция. Антиспецификация. Антидетерминация	0100	Но не
$\subset F_{16} = a \not\subset \bar{b};$ $A \quad b; a \leftarrow b$	Отрицание обратной импликации. Обратная антиимпликация (неимпликация). Обратное разделительное суждение. Обратное антисовпадение	0010	Не но

Кроме логических функций, в логике предикатов имеются еще операции квантификации — *кванторы*. Это специальные операции, которые служат для выражения общности суждений и связанных с ними понятий (табл. 2.7) и позволяют на формальном языке исчисления предикатов говорить не об одном объекте, а о целом классе объектов.

Таблица 2.7

Обозначения	Названия	Смысл
$(\forall a) b$	Квантор общности	Для любого a будет b
$(\exists a) b$	Квантор существования	Есть хотя бы одно a такое, что будет b
$(E! a) b$	Квантор единственности	Есть только одно a такое, что будет b

В этой связи существуют понятия *дизъюнктивно-нормальной* и *конъюнктивно-нормальной* формы, всегда удовлетворяющие требованиям базиса.

В условиях выполнения требований к базису в алгебре логики доказывают теоремы, демонстрирующие свойства операций над высказываниями. Применяя эти теоремы, формально можно получить правильный результат, не вникая в смысл проводимых исследований.

Примеры этих теорем или *логических законов* приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Название свойства (закона), формулировки	Символическая запись
<i>Замкнутость</i> Множество R содержит дизъюнкцию и конъюнкцию всех входящих в него элементов	$a \cup b \in R$ $a \cap b \in R$
<i>Коммутативность</i> Изменение последовательности элементов не изменяет значения дизъюнкции и конъюнкции	$a \cup b = b \cup a$ $a \cap b = b \cap a$
<i>Ассоциативность</i> Группировка внутри конъюнкции и дизъюнкции не меняет их значений	$(a \cap b) \cap c = a \cap (b \cap c)$ $(a \cup b) \cup c = a \cup (b \cup c)$
<i>Дистрибутивность</i> Прибавление элемента к произведению равносильно прибавлению этого элемента к множителям; умножение суммы на элемент равносильно умножению слагаемых на этот элемент	$a \cup (b \cap c) = (a \cup b) \cap (a \cup c)$ $a \cap (b \cup c) = (a \cap b) \cup (a \cap c)$

Окончание табл. 2.8

Название свойства (закона), формулировки	Символическая запись
<i>Идемпотентность (закон технологии)</i> Повторение элемента (прибавление или умножение) не изменяет истинности элемента	$a \cup a = a$ $a \cap a = a$
<i>Совместимость</i>	$a \cup b = b$ в том и только в том случае, если $a \cap b = b$
<i>Дополнительность</i> Для каждого элемента a множества R существует дополнение $\neg a$ или $R - a$	Частный случай $a \cup \neg a = R$ $\neg R = \emptyset$ $a \cap \neg a = \emptyset$ $\neg \emptyset = R$
<i>Законы поглощения (абсорбции)</i> Дизъюнкция произведения и одного из ее членов эквивалентна этому члену. Конъюнкция суммы и одного из ее членов эквивалентна этому члену	$a \cup (a \cap b) \equiv a$ $a \cap (a \cup b) \equiv a$
<i>Законы двойственности (теоремы А. де Моргана)</i> Дополнение к пересечению a и b эквивалентно объединению их дополнений. Дополнение к объединению элементов (множеств) равно пересечению их дополнений	$\overline{a \cap b} \equiv \bar{a} \cup \bar{b}$ $\overline{a \cup b} \equiv \bar{a} \cap \bar{b}$
<i>Инволюция (закон удвоенного отрицания)</i>	$\neg(\neg a) \equiv a$
<i>Законы противоположности</i> Если элемент a эквивалентен дополнению элемента b , то элемент b эквивалентен дополнению элемента a	$a \equiv \bar{b} \Rightarrow b \equiv \bar{a}$
Множество содержит элементы $R = 1$ и $\emptyset = 0$ такие, что для всякого элемента	$a \cup \emptyset = a$ $a \cup R = R$ $a \cap R = R$ $a \cap \emptyset = a$
Умножение одного из элементов на дополнение второго элемента не меняет дизъюнкции элементов	$a \cdot (\neg b) \equiv a + b$ $a \cap (\neg b) \equiv a \cup b$

Полную систему логических функций называют *логическим базисом*. Для того чтобы система функций представляла собой базис, она должна обладать определенными свойствами.

В частности, чтобы система функций была полной, необходимо и достаточно, чтобы она содержала хотя бы одну функцию: *не сохраняющую константу «единица», не сохраняющую константу «нуль», нелинейную, немонотонную, несамодвойственную*.

Полный логический базис содержит избыточное число функций. Такая система функций может остаться базисом при удалении из нее некоторых функций. Удаление функций можно производить до тех пор, пока система не станет такой, что удаление из нее хотя

бы одной из функций, ее образующих, будет приводить к невыполнению перечисленных требований к базису. Такую систему называют *минимальным базисом*

Минимальными базисами бинарной алгебры логики являются базисы, включающие только две функции $\{\neg, \cup\}$ $\{\neg, \cap\}$. Функция отрицания не сохраняет константы «ноль» и «единицу» и не является монотонной, функции дизъюнкции \cup и конъюнкции \cap обеспечивают нелинейность и не являются самодвойственными (в силу приведенных в табл. 2.8 теорем де-Моргана).

Из элементарных функций алгебры логики формируют последовательности действий, отображающие процессы в системе от входа до выхода, т.е. *логические алгоритмы*.

На рис. 2.7 и 2.8 проиллюстрирована разная запись одного и того же алгоритма (соответствие обозначений рис. 2.7 и 2.8 приведено на рис. 2.9).

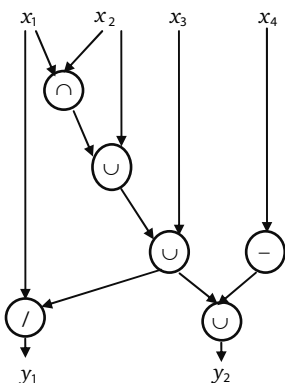


Рис. 2.7

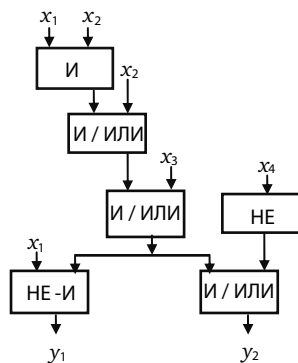


Рис. 2.8

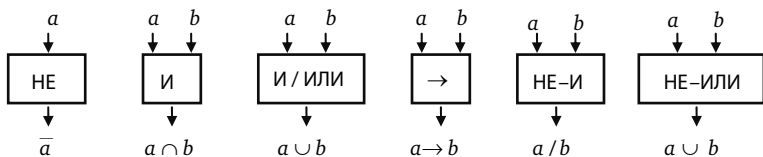


Рис. 2.9

Этот же алгоритм может быть записан следующим образом:

$$y_1 = x_1 / \{[(x_1 \cap x_2) \cup x_2] \cup x_3\};$$

(2.13)

$$y_2 = x_4 \cup \{[(x_1 \cap x_2) \cup x_2] \cup x_3\}.$$

Существует много форм записи логических алгоритмов: в виде функций алгебры логики (2.13), в форме таблиц или матриц, «машин Тьюринга», логических схем по **А. А. Ляпунову**, с помощью рекурсивных функций, на языке нормальных алгоритмов **А. А. Маркова**, в виде программ для вычислительных машин на одном из языков программирования, в форме диаграмм Насси — Шнайдермана.

Логические алгоритмы можно преобразовывать с использованием логических законов. Пример применения одного из законов (теоремы А. де-Моргана) приведен на рис. 2.10.

На базе логических представлений возникли и развиваются теории *логического анализа* и *логического синтеза*. Эти теории основаны на применении средств алгебры логики к задачам анализа и синтеза структур исследуемых систем, а также к задачам принятия решений в сложных проблемных ситуациях, возникающих в системах или при взаимодействии систем.

Задача *логического анализа* состоит в описании поведения системы с известной структурой набором системно-логических уравнений (функций алгебры логики — ФАЛ) и исследования полу-

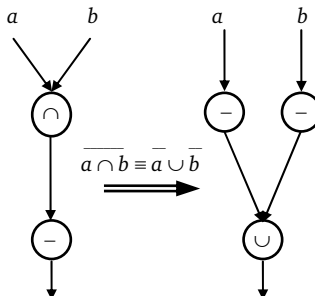


Рис. 2.10

ченного логического выражения с целью его минимизации, т.е. выяснения, нельзя ли получить более простую структуру (схему), содержащую меньшее число элементов (состояний), но осуществляющую требуемые преобразования. Такие задачи возникают, например, при создании автоматических систем контроля неисправностей, систем автоматического резервирования, обеспечения надежности и т.д.

Задача *логического синтеза* заключается в том, чтобы по известному поведению системы определить ее структуру (в случаях, если она неизвестна или не полностью известна), т.е. сопоставить системе некоторый «автомат» — «черный ящик» с известными входными и выходными воздействиями.

Таким образом, при логическом анализе задача сводится к минимизации ФАЛ, т.е. к оптимизации в некотором смысле логического алгоритма. Задача логического синтеза сложнее, она обычно решается путем последовательных приближений, а на промежуточных этапах также может быть полезна минимизация ФАЛ.

Минимизация осуществляется путем применения законов алгебры логики, приведенных в табл. 2.8. Наиболее известными *методами минимизации* ФАЛ являются метод минимизирующих карт или таблиц (конъюнктивных или дизъюнктивных, импликативных); метод неопределенных коэффициентов; геометрические методы, метод Блека — Порецкого.

При возрастании числа переменных для минимизации ФАЛ применяют ЭВМ. При этом логический алгоритм нужно перевести на один из языков программирования, или при логическом анализе сложных ситуаций — разрабатывают промежуточные языки проектирования или моделирования процессов управления.

Специфические особенности задачи логического синтеза при описании системы логическим автоматом вызвали возникновение и развитие самостоятельной научной дисциплины — *теории автоматов*.

Логические методы представления систем возникли как детерминистские, но в дальнейшем стали предприниматься попытки их расширения в сторону вероятностных оценок.

Логические представления сыграли большую роль в развитии теоретической основы алгоритмизации и программирования. В част-

ности, они лежат в основе теории алгоритмов (в дальнейшем — алгоритмов) **А. А. Маркова**. Они широко применяются при исследовании и разработке автоматов разного рода, автоматических систем контроля, при решении задач распознавания образов, при исследованиях новых структур систем (в основном технических объектов), в которых характер взаимодействия между элементами еще не настолько ясен, чтобы возможно было их представление аналитическими методами, а статистические исследования либо затруднены, либо не привели к выявлению устойчивых закономерностей. На их основе развивается самостоятельный раздел теории формальных языков моделирования проблемных ситуаций и текстов.

В то же время следует иметь в виду, что с помощью логических алгоритмов можно описывать не любые отношения, а лишь те, которые предусмотрены законами алгебры логики. Смысловыражающие возможности логических методов ограничены базисом и не всегда позволяют адекватно отобразить реальную проблемную ситуацию. Поэтому стали предприниматься попытки вначале создать тернарную логику, а затем — и логику, в которых переменная может принимать не только крайние значения «истинно» — «ложно», но и какие-либо из промежуточных — многозначных логики, вплоть до непрерывной.

Однако отметим, что даже для тернарной логики так и не удалось создать непротиворечивый логический базис.

Неудачные попытки разработки многозначных логики объяснимы, если учесть, что вся математика, в том числе математическая логика создавались для того, чтобы соответствовать принципам строгой формальной дедуктивной системы (с учетом, конечно, теоремы Гёделя), базирующимся на законе *исключенного третьего* (т.е. на предположении, что всякое событие, положение может быть истинным или ложным, третьего не дано).

Реальная же действительность не подчиняется этому закону. Поэтому для ее моделирования необходимо либо создание подходов, основанных на формализации диалектической логики (специальное направление информационного моделирования, развивающееся на этой основе, рассматривается в гл. 3), либо использование лингвистических и семиотических представлений, которые свободны от требования выполнения закона исключенного третьего, что и является иногда основанием для того, чтобы не включать эти направления в математику.

Лингвистические, семиотические представления. Математическая лингвистика и семиотика — самые «молодые» методы формализованного отображения систем. Включение их в разряд математических нельзя считать общепризнанным.

Некоторые исследователи (например, *Ю. А. Шрейдер* [102]) считают, что лингвистика в силу специфических особенностей, позволяющих моделировать развивающиеся системы и процессы (что обеспечивается отсутствием закона исключенного третьего), не является математикой в сложившемся понимании этого термина. В то же время французская школа математиков считает математическую лингвистику разделом современной математики.

Математическая лингвистика возникла во второй половине XX в. как средство формализованного изучения естественных языков и вначале развивалась как *алгебраическая лингвистика*. Первые полезные результаты алгебраической лингвистики связаны со *структуралистским* (дескриптивным) подходом. Однако в силу отсутствия в тот период концепции развития языка эти работы привели к еще большему тупику в попытках построения универсальной грамматики, и был период, когда структурализм считался неперспективным направлением развития науки о языке и даже был гоним.

Активное возрождение математической лингвистики началось в 50—60-е гг. XX в. и было связано в значительной степени с потребностями прикладных технических дисциплин, усложнившиеся задачи которых перестали удовлетворять методы классической математики, а в ряде случаев — и формальной математической логики.

В период уменьшения интереса к математической лингвистике появилось статистическое направление, которое называют *статистической лингвистикой* или *лингвистической статистикой*.

Основными понятиями, на которых базируются лингвистические представления, являются понятия: тезаурус, грамматика, семантика, прагматика.

Термин *тезаурус* (от греч. *θησαυρος*, *thesauros* — сокровищница, богатство, клад, запас и т.п.) в общем случае характеризует совокупность научных знаний о явлениях и законах внешнего мира и духовной деятельности людей, накопленную всем человеческим

обществом. Этот термин был введен в современную литературу по языкознанию и информатике Кембриджской группой по изучению языков в 1956 г. В то же время термин существовал раньше: в эпоху Возрождения тезаурусами называли энциклопедии.

В математической лингвистике и семиотике термин «тезаурус» используется в более узком смысле, для характеристики конкретного языка, его многоуровневой структуры. Для этих целей удобно пользоваться одним из принятых в лингвистике определений тезауруса как «*множества смысловыражающих элементов языка с заданными смысловыми отношениями*»¹.

Это определение позволяет представить структуру языка в виде уровней (страт) множеств (например, слов, словосочетаний, предложений, абзацев и т.п.), смысловыражающие элементы каждого из которых формируются из элементов предшествующих структурных уровней (рис. 2.11).

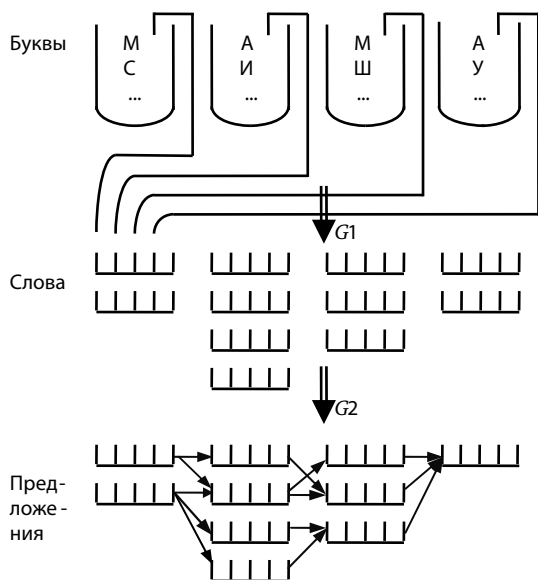


Рис. 2.11

¹ Шрейдер, Ю. А. Информация в структурах с отношениями / Ю. А. Шрейдер // Исследования по математической лингвистике, математической логике и информационным языкам : сб. статей. — М. : Наука, 1972. — С. 147—159.

Правила (G1, G2) формирования смысловыражающих элементов второго и третьего уровней в тезаурус не входят, в тезаурусе определяется только вид и наименование уровня, характер и вид смысловыражающих элементов.

Иногда вместо термина *смысловыражающие элементы* используется термин *синтаксические единицы* тезауруса. На взгляд авторов, это менее удачный термин, так как при формировании элементов нового множества смысловыражающих элементов каждого последующего уровня (при образовании слов из букв, фраз и предложений из слов) у элементов вновь образованного множества появляется новый смысл, т.е. как бы проявляется закономерность целостности, и это хорошо отражает термин «смысловыражающий элемент».

В таком толковании понятие тезауруса можно конструктивно использовать при создании искусственных языков — языков моделирования, автоматизации проектирования, информационно-поисковых языков. Оно позволяет охарактеризовать язык с точки зрения уровней обобщения, ввести правила их использования при индексировании информации.

Можно говорить о *глубине* тезауруса того или иного языка, характеризуемой числом уровней, о *видах уровней обобщения* и, пользуясь этими понятиями, сравнивать языки, выбирать более подходящий для рассматриваемой задачи или, охарактеризовав структуру языка, организовать процесс его разработки.

Под *грамматикой* (которую иногда называют *синтактикой*, *синтаксисом*, что сужает понятие грамматики, исключая из него *морфологию*) понимаются правила, с помощью которых формируются смысловыражающие элементы языка (на рис. 2.11 приведены два вида правил — G1 и G2, которые иногда называют грамматиками 1-го и 2-го рода). Пользуясь правилами, можно «порождать» (формировать) грамматически (синтаксически) правильные конструкции или распознавать их грамматическую правильность.

Термин «*грамматика*» употребляется в лингвистике и как укороченная замена термина «*формальная грамматика*», который имеет иной смысл и будет охарактеризован далее.

Под *семантикой* понимается содержание, значение, смысл формируемых или распознаваемых конструкций языка; под *прагматикой* — полезность для данной цели, задачи.

В естественном языке различить понятия, с помощью которых характеризуются термины «*семантика*» и «*прагматика*», трудно;

обычно пояснить различие можно лишь при парном сопоставлении терминов:

<семантика> :: = <содержание> | <смысл> | <значение>;
 <прагматика> :: = <смысл> | <значение> | <полезность>.

Поэтому принято рассматривать эти понятия на примерах. Поясним различие между семантически и прагматически правильными конструкциями языка на следующих легко запоминающихся примерах.

Пример

Традиционно для пояснения синтаксической правильности и семантической бессмыслицы используется предложенный *Л. В. Щербой* пример: «Глокая куздра штеко борзданула бокра и курдычет бокрёнка» (в котором просто нет ни одного слова естественного языка, имеющего смысл). Но примеры можно найти и в естественной речи.

Предложение «Муха лукаво всплеснула зубами» синтаксически правильное, но не имеет смысла в естественном русском языке в обиходном, широком употреблении, т.е. является с точки зрения пользователей русским языком семантически неправильным (исключим пока гипотетическую ситуацию сказки, в которой муха может быть наделена указанными свойствами).

Другое предложение «Маленькая девочка собирает цветы на лугу» — синтаксически и семантически правильное. Однако для директора завода (если это луг, а не заводской газон, и — учтем личный фактор — если эта девочка не его дочь) это предложение не несет никакой информации, т.е. прагматически (с точки зрения целей руководителя) является неправильным. Другое дело, если «Иванов (который в данный момент должен находиться на рабочем месте) собирает цветы на лугу». Тогда это предложение было бы и прагматически правильным.

Возвратимся теперь к примеру с мухой. Приведенное предложение, *семантически неправильное*, может в гипотетической ситуации сказки оказаться *прагматически правильным*, что важно иметь в виду при применении лингвистических представлений.

При создании и использовании искусственных языков применяют такие понятия структурной лингвистики, как порождающая и распознающая грамматика.

Под *порождающей* грамматикой понимается совокупность правил, с помощью которых обеспечивается возможность формиро-

вания (порождения) из первичных элементов (словаря) синтаксически правильных конструкций. Под *распознающей грамматикой* — правила, с помощью которых обеспечивается возможность распознавания синтаксической правильности предложений, фраз или других фрагментов языка.

Все рассмотренные понятия в равной мере используются как в математической лингвистике, так и в лингвистической семиотике. Некоторую условную границу между ними можно провести, лишь введя понятие «*классы формальных грамматик*» (как *теорий математической лингвистики*).

На базе лингвистических представлений развивается *теория формальных грамматик Н. Хомского*. Классы формальных грамматик Н. Хомского считаются основой *теории формальных языков*.

Формальный язык определяется как множество (конечное или бесконечное) предложений (или «цепочек»), каждое из которых имеет конечную длину и построено с помощью некоторых операций (правил) из конечного множества элементов (символов), составляющих алфавит языка.

Формальную грамматику определяют в виде четверки множеств

$$G = \langle V_T, V_N, R, A \rangle, \quad (2.14)$$

где V_T — множество *основных* или *терминальных* символов; V_N — множество *вспомогательных* или *нетерминальных* символов; R — множество *правил вывода*, или *продукций*, которые могут иметь вид

$$\alpha \rightarrow \beta. \quad (2.15)$$

(здесь $\beta \in (V \cup V_N)$, т.е. β — цепочка конечной длины из терминальных и нетерминальных символов множеств V_T и V_N ;

$$\alpha \in (V_T \cup V_N)V_N(V_T \cup V_N), \quad (2.16)$$

т.е. α является цепочкой из терминальных и нетерминальных символов, содержащей по крайней мере один нетерминальный сим-

вол из V_N); A — множество аксиом (в грамматиках комбинаторного типа, к которым относятся грамматики **Н. Хомского**, A состоит из одного начального символа S , причём $S \in V_N$).

Учитывая, что в литературе по формальным грамматикам, как правило, не стремятся к содержательной интерпретации получаемых выводов, а рассматривают лишь формальную сторону процессов порождения и распознавания принадлежности цепочек к соответствующему классу грамматик, приведем содержательный пример порождающей грамматики.

Пример

Предположим, дано:

$$V_T = \langle v_1, v_2, \text{п, л} \rangle,$$

$$V_N = \langle S, P \rangle.$$

Порождающая грамматика

Распознающая грамматика

$$R = \begin{cases} S \rightarrow SP & (1) \\ S \rightarrow v_1 S & (2) \\ S \rightarrow v_2 S & (3) \\ S \rightarrow \text{п} & (4) \\ P \rightarrow \text{л} & (5) \end{cases} \quad \begin{cases} SP \rightarrow S & (1') \\ v_1 S \rightarrow S & (2') \\ v_2 S \rightarrow S & (3') \\ n \rightarrow S & (4') \\ \text{л} \rightarrow P & (5') \end{cases} \quad (2.17)$$

Применяя правила R левой части (2.17) в приведенной последовательности, получаем

$$\begin{aligned} S &\Rightarrow SP \Rightarrow v_1 S P \Rightarrow v_1 v_2 S P \Rightarrow v_1 v_2 \text{п} P \Rightarrow v_1 v_2 \text{п л}. \\ (1) \quad (2) \quad (3) \quad (4) \quad (5) \end{aligned}$$

Это — формальная сторона процесса порождения. Для того чтобы получить интерпретируемое выражение, нужно расшифровать терминальные символы, включенные в V_N , где v_1 — ВСЕ, v_2 — ВОЗРАСТЫ, п — ПОКОРНЫ, л — ЛЮБВИ.

Тогда полученное предложение

« $v_1 v_2 \text{п л}$ » — «ВСЕ ВОЗРАСТЫ ПОКОРНЫ ЛЮБВИ».

Если изменить последовательность применения правил, то будут получаться другие предложения. Например, если применить правила в последовательности $(1) \Rightarrow (3) \Rightarrow (2) \Rightarrow (4) \Rightarrow (5)$, то получится «ВОЗРАСТЫ ВСЕ ПОКОРНЫ ЛЮБВИ». Если применить не все правила, например: $(1) \Rightarrow (2) \Rightarrow (4) \Rightarrow (5)$, то получим «ВСЕ ПОКОРНЫ ЛЮБВИ».

Если же попытаться получить предложение, как у А. С. Пушкина — «Любви все возрасты покорны», то, как бы мы ни меняли последова-

тельность правил, получить эту фразу не удастся. Нужно изменить первое правило: вместо $S \rightarrow SP$ включить в R правило $S \rightarrow PS$.

Из примера следует, что вид порождаемых цепочек (предложений) зависит от вида правил (исчисления) и последовательности их применения (алгоритма).

С помощью приведенного примера легко также продемонстрировать тесную связь понятия «грамматически правильный» с языком (грамматикой).

Распознающая грамматика для рассматриваемого примера будет содержать как бы «перевернутые» правила — правая часть (2.17), которые должны применяться в обратной последовательности. Пример представления анализа правильности предложения с помощью правил распознающей грамматики приведен на рис. 2.12.

При распознавании правильности предложения если не оговаривать, что предложение (цепочка) грамматически правильно с точки зрения правил данного формального языка, то можно, пользуясь формальной грамматикой в первоначальном виде, получить вывод, что приведенная фраза Пушкина грамматически неправильна с точки зрения правил грамматики (2.17).

Действительно, с точки зрения правил грамматики для построения делового текста, которым соответствуют правила (2.17), другие поэтические строки часто получали бы формальную оценку «грамматически неправильно». И, напротив, если построить грамматику на основе анализа пушкинского стиля, то в деловом тексте получились бы предложения типа «Я решение свое принял правильное» (подобно фразе «Я памятник себе воздвиг нерукотворный»).

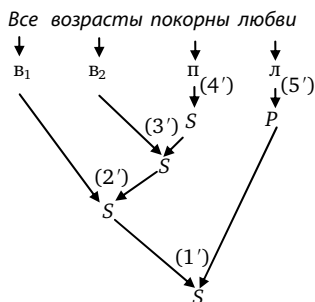


Рис. 2.12

Сказанное позволяет легко представить полезность определения формальной грамматики при создании языка моделирования соответствующего литературного или музыкального произведения — пародий, подражательств или, как иногда принято говорить, произведений соответствующего стиля или класса.

Например, известны работы *Р. Х. Зарипова*¹ по моделированию музыкальных произведений в стиле, или в классе, массовых советских песен, моделирование процесса сочинения стихотворных произведений и т.п.

Подобным же образом можно моделировать порождение деловых писем или других документов, имеющих, как правило, не только формализованный стиль, но и формальную структуру. Аналогично можно создавать языки моделирования структур, языки автоматизации проектирования сложных устройств и систем определенного вида (класса).

Основу подобных работ составляют идеи, которые можно пояснить с помощью классов грамматик, впервые предложенных *Н. Хомским*².

Разделение грамматик на классы определяется видом правил вывода R . В зависимости от них можно выделить четыре основных, наиболее часто рассматриваемых, класса грамматик (в полной теории формальных грамматик с правилами типа подстановки есть и промежуточные классы) (табл. 2.9).

В теории формальных грамматик показано, что имеет место следующее соотношение:

$$A \subseteq KC \subseteq HC \subseteq NU. \quad (2.18)$$

Иногда доказывают, что имеет место строгое вхождение

$$A \subset KC \subset HC \subset NU. \quad (2.18a)$$

¹ Зарипов, Р. Х. Машинный поиск вариантов при моделировании творческого процесса / Р. Х. Зарипов. — М. : Наука, 1983. — С. 232.

² Хомский, Н. Три модели для описания языка / Н. Хомский // Кибернетический сборник. — Вып. 2. — М. : ИЛ, 1961.

Таблица 2.9

Класс грамматик	Характеристика
1-й класс <i>Неукорачивающие</i> (НУ-грамматики)	На правила вывода накладывается только одно требование, чтобы в левой части правила вывода было всегда меньше символов, чем в правой, т.е. чтобы правила были неукорачивающими, не уменьшали число символов в выводимых цепочках. Иногда эти грамматики называют грамматиками типа нуль (<i>нулевого типа</i>) или <i>алгоритмическими</i>
2-й класс <i>Контекстные, контекстно-связанные, непосредственных составляющих</i> (НС-грамматики)	На правила вывода, помимо требований неукорачиваемости, накладывается ограничение, чтобы на каждом шаге изменялся только один символ в контексте, т.е. чтобы $Z1 B Z2 \rightarrow Z1 W Z2$, где B — один нетерминальный символ; W — непустая цепочка символов, т.е. $W \neq \emptyset$.
3-й класс <i>Контекстно-свободная</i> (КС-грамматика), или <i>бесконтекстная</i>	Кроме неукорачиваемости требуется, чтобы правила имели вид $B \rightarrow \beta,$ т.е. α всегда состоит из одного вспомогательного символа
4-й класс <i>Автоматные</i> (А-грамматики)	На правила вывода накладывается по сравнению с 3-м классом еще одно ограничение, требующее, чтобы в правилах вывода нетерминальный символ всегда стоял справа или слева, т.е. с одной стороны. Если нетерминальный символ стоит слева, т.е. правила имеют вид $A \rightarrow aB$ или $A \rightarrow a$, где $(A, B) \in V_N$, $a \in V_T$, автоматная грамматика является <i>праволинейной</i> ; если нетерминальный символ стоит справа — то автоматную грамматику называют <i>леволинейной</i>

При исследовании разных классов формальных грамматик получены результаты, которые позволяют сделать вывод, что по мере уменьшения числа ограничений, накладываемых на правила вывода, т.е. по мере продвижения в (2.18) слева направо, в языке увеличивается возможность отображения смысла, т.е. возможность выражения с помощью формальных правил семантических особенностей проблемной ситуации. Говорят, что формальная система становится более богатой. Однако при этом в языке растет число алгоритмически неразрешимых проблем, т.е. увеличивается число положений, истинность или ложность которых не может быть доказана в рамках формальной системы языка.

Здесь мы сталкиваемся фактически с проблемой Гёделя, которая в теории формальных языков обсуждается обычно в терминах этой теории. А именно: вводится понятие «*операция определена (или не определена) на множестве языков данного класса*»; и считают, что операция определена на множестве языков данного класса, если после применения ее к языкам, входящим в это множество, получается язык, принадлежащий множеству языков этого класса.

Пример

Например, если $Y_1 \subset \text{КС}$ и $Y_2 \subset \text{КС}$, и если $(Y_1 \cup Y_2) \subset \text{КС}$, то операция объединения \cup определена на классе КС-языков.

Характеризуя с помощью введенного понятия классы языков, отмечают, что в последовательности (2.18) по мере продвижения слева направо увеличивается число операций, которые не определены на множестве языков данного класса.

Здесь, правда, следует оговорить, что дело обстоит не так прямолинейно. Точнее было бы сказать, что для большого числа операций нет доказательств, что они определены на классах НС-языков и НУ-языков, т.е. эти доказательства становятся сложнее или вообще (в силу теоремы Гёделя) нереализуемы средствами теории формальных грамматик.

Приведенное упрощенное представление проблемы помогает обратить внимание тех, кто будет заниматься разработкой языков программирования или программных систем, языков моделирования, автоматизации проектирования, на необходимость учета следующей закономерности: *чем большими смысловыражающими возможностями обладает знаковая система, тем в большей мере растет в ней число алгоритмически неразрешимых проблем* (т.е. тем менее доказательны в ней формальные процедуры).

При выходе в класс произвольных грамматик, в котором не выполняется даже условие неукорачиваемости, доказать допустимость тех или иных формальных преобразований средствами математической лингвистики практически невозможно, и поэтому в поисках новых средств исследователи обратились к семиотическим представлениям. Здесь можно провести как бы формальную границу между лингвистикой и семиотикой.

Семиотика возникла как наука о знаках, знаковых системах. Однако некоторые школы, развивающие семиотические представления, настолько равноправно пользуются в семиотике понятиями математической лингвистики, такими, как тезаурус, грамматика, семантика и т.п. (характеризуемыми далее), не выделяя при этом в отдельное направление *лингвосемиотику*, что часто трудно определить, к какой области относится модель — математической лингвистике или семиотике.

В то же время именно в лингвосемиотике достигнуты наиболее конструктивные результаты, которые могут быть полезны при исследовании систем различной физической природы. Другие применения семиотики как науки о знаках носят в большей мере характер методологического средства для пояснения результатов, которые ранее были получены в геометрии, алгебре и других разделах математики.

В данном учебнике для целей приложения математической лингвистики и семиотики к системным исследованиям эти направления рассматриваются совместно, но фактически речь пойдет о лингвосемиотике.

Семиотические представления пользуются другими по сравнению с математической лингвистикой средствами исследования семантических возможностей языков. В частности, используют понятия «знак», «знаковая ситуация». Треугольник Г. Фреге [101, 102] (рис. 2.13), согласно которому любой знак имеет форму (десигнат, собственно знак), денотат (означаемое знака) и концепт (смысл, значение). Треугольник Фреге характеризует отношения знака, денотата и концепта. Концепт позволяет определить денотат в соответствующем аспекте, в конкретной знаковой ситуации.

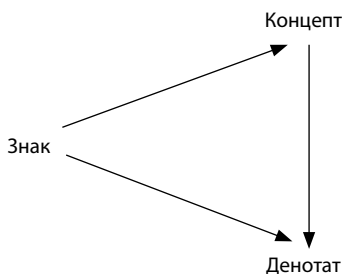


Рис. 2.13

В нашей стране лингвосемиотику развивал Ю. А. Шрейдер [101, 102], который

- ввел понятие «знаковая ситуация» как пары из знака и обозначаемого (означаемого) данным знаком;
- сформулировал основные особенности знака: 1) способность знака в ряде случаев замещать обозначаемое; 2) нетождественность знака и денотата (знак никогда не может полностью

заменить означаемое); 3) многозначность соответствия «знак-денотат» (конвенциональность обозначений);

- интерпретировал *концепт* как информацию, которую знак несет о возможных денотатах, об их положении в системе реальных, месте в универсуме;
- показал, что выбор денотата зависит от конкретной ситуации, сориентироваться в которой помогает концепт;
- ввел понятие *знаковой системы* как набора знаков, в котором есть какие-то внутренние отношения между обозначаемыми;
- установил соответствия

знак	— семантика,
текст	— смысл,
сообщение	— информация

и показал, что текст может выполнять двойную функцию — знака и сообщения (рис. 2.14).

Исходная терминология семиотики позволяет отойти от представлений формальных грамматик **Н. Хомского**, имеющих отношения типа подстановки, и конструировать грамматику, используя более широкий спектр отношений.

В частности, на границе лингвистики и семиотики возникли языки синтагматического типа, т.е. языки, использующие правила типа $\{a_i r_k b_j\}$, называемые *синтагмой*, где $a_i \in A$; $b_j \in B$ — взаимодействующие множества (подклассы) исходных понятий языка; $r_k \in R$ — множество отношений, которые могут иметь произволь-

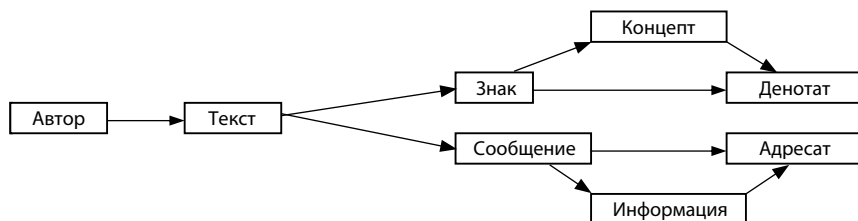


Рис. 2.14

ный вид. Однако такая свобода, как уже отмечалось выше, приводит к увеличению числа антиномий в языке.

Например, для информационно-поискового языка это означает ухудшение его качеств (в частности — релевантности, т.е. соответствия выдачи запросу пользователя) в силу того, что при реализации поискового алгоритма могут возникнуть замкнутые циклы, обусловленные противоречивыми правилами грамматики языка.

Поэтому используемые отношения конкретизируют. В частности, **Ю. А. Шрейдер** [101, 102] исследовал возможности использования отношений эквивалентности, толерантности и строгого порядка, определяемых на основе свойств рефлексивности, симметричности и транзитивности (табл. 2.10).

Таблица 2.10

Отношение	Свойство		
	рефлексивность	симметричность	транзитивность
Эквивалентность	+	+	+
Толерантность	+	+	–
Строгий порядок	–	–	+

Для пояснения возможностей, появляющихся при таком подходе к созданию языка, проиллюстрируем применение отношения толерантности. Как очевидно из табл. 2.10, по определению толерантность — особый вид сходства, при котором сопоставляемые элементы языка находятся в отношении, обладающем рефлексивностью и симметричностью, но не обладающем транзитивностью. Это означает, что, например, если при сопоставлении слов ввести допустимую ошибку в один символ, то отношение сходства между первым и вторым словами могут быть признаны (с точностью до допустимой ошибки) рефлексивным и симметричным; аналогично —

между вторым и третьим; но первое и третье слова уже могут отличаться не одним, а двумя символами, и сходство между ними (рис. 2.15) можно вообще не обнаружить, т.е. не будет выполнено отношение транзитивности.



Рис. 2.15

Пример

Для пояснения толерантности у **Ю. А. Шрейдера** [102] приводится образный пример (см. рис. 2.15), как в

результате применения такого отношения можно получить из «мухи» «слона» (т.е. из слова «муха» получить слово «слон»), а также иллюстрирует понятие транзитивности с помощью гравюры голландского художника М. К. Эсхера «Небо и вода», на которой едва различимые преобразования на каждом шаге сверху вниз постепенно превращают контуры птиц в контуры рыб (см. рис. 2.15).

Возникновение подобных ситуаций важно учитывать при разработке языков для формального кодирования передачи текстов и восстановления их в месте приема.

С помощью отношения толерантности можно отобразить некоторые отношения между словами естественного языка. Например,

$$\begin{aligned} \text{рам-а} \tau \text{ стол} & \\ \text{стол} \tau \text{ книг-у}, & \end{aligned} \quad (2.19)$$

где τ — операция установления сходства.

Приведенные соотношения (2.19) означают, что в синтагме «*рама* τ *стол*» имеет место отношение сходства с точностью до рефлексии и симметрии, в синтагме «*стол* τ *книгу*» — тоже, а между элементами синтагмы «*рам-а*» — «*книг-у*» сходства нет в силу невыполнения по определению для рассматриваемого отношения свойства транзитивности.

Попытаемся интерпретировать формальную запись (2.19). Содержательный анализ этих соотношений позволяет понять, что в них отражено сходство по падежу. Слова мужского рода («*стол*») могут употребляться в русском языке в одинаковой форме в именительном (первая строка) и винительном (вторая строка) падеже, в то время, как слова женского рода имеют в этих падежах разную форму, что и обусловило нетранзитивность.

Аналогично можно отобразить сходство по роду, так как в русском языке могут использоваться одни и те же имена для женщин и мужчин, что в тексте без дополнительных пояснений или учета формы глагола может оказаться нераспознаваемым. Можно также отразить понятие места в предложении или места предложения в абзаце и т.п.

Таким образом, вводя в язык отношение *толерантности* (например, путем формирования классов толерантности) можно отразить в языке взаимоотношения между словами и высказываниями

более полно и точно, чем это позволяют делать отношения математической логики или грамматик Н. Хомского. Такие языки необходимы при расшифровке древних рукописей, при автоматизации процесса перевода с одного языка на другой.

Однако следует иметь в виду, что создание подобных языков — весьма сложный и трудоемкий процесс, и поэтому в практике информационного поиска или разработки языков моделирования в тех случаях, когда есть возможность отразить особенности моделируемой ситуации иным способом, рассматриваемый подход не применяют.

В частности, при разработке некоторых информационно-поисковых языков было предложено вводить при индексировании текста понятия «указатели роли», «указатели связи», которые легче интерпретируются при ручном индексировании, чем понятие толерантности. В то же время при автоматизации индексирования может возникнуть необходимость в использовании отношений, приведенных в табл. 2.10, поскольку они, обладая большими по сравнению с лингвистическими представлениями смысловыражающими возможностями, все же базируются на определенной формальной основе, которая может позволить сделать язык более алгоритмизируемым.

Графические методы. В рассматриваемой классификации к классу графических представлений отнесены такие средства отображения результатов анализа информации, как графики, диаграммы, гистограммы, древовидные структуры, которые можно отнести к средствам активизации интуиции специалистов, *графики Ганта*, (т.е. «время-операция» в прямоугольных координатах и т.д.) и возникшие на основе графических отображений теории: *теория графов*, *теория сетевого планирования и управления* и т.п., т.е. все, что позволяет наглядно представить процессы, происходящие в системах, и облегчить таким образом их анализ для человека (лица, принимающего решения).

Классификация применяемых графиков по признакам и видам приведена в табл. 2.11.

Есть и возникшие на основе графических представлений методы, которые позволяют ставить и решать вопросы оптимизации процессов организации, управления, проектирования, и являются математическими методами в традиционном смысле.

Таковы *геометрия*, *теория графов*.

Исторически понятие «*графа*» первоначально было введено *Л. Эйлером*.

Таблица 2.11

Группы по признакам	Виды
1. Графики, выражающие структуры и связи (оргаграммы)	Классификационные схемы. Схемы организационных структур. Оргасхемы табличного и другого типов. Схемы прохождения информации в документах. Схемы рабочих процессов (оперограммы)
2. Графики, выражающие расположения предметов и явлений во времени (хронограммы) и в пространстве (топограммы)	Контрольно-планировочные графики. Гармонограммы и т.п. Маршрутные графики. Планы расположения предметов и рабочих мест и т.п.
3. Графики, выражающие количественные отношения	Графики сравнения величин (простые и групповые). Гистограммы. Графики, выражающие структурные сравнения. Графики изменения и распределения величин
4. Графики расчетного характера	Номограммы. Шкалограммы и т.п.

Основные понятия теории графов приведены в табл. 2.12, которая поможет начать самостоятельное ее изучение.

Таблица 2.12

Понятие	Определение или определяющий признак	Изображение
Граф (Г)	Множества элементов x_0, x_1, \dots, x_n и отношений r_0, r_1, \dots, r_m между ними	
Граф конечный по x	Конечное множество элементов	
Граф конечный по r	Конечное множество отношений	
Граф ненаправленный (неориентированный)	Элементы неупорядочены. Направление отношений не определено	
Граф направленный (ориентированный)	Элементы упорядочены. Направление отношений определено	
Граф симметрический	Двусторонние отношения	
Граф асимметрический	Односторонние отношения	

Понятие	Определение или определяющий признак	Изображение
Граф несвязный	Обособленные части	
Граф сильно связный	Любые два элемента соединены хотя бы одним путем	
Граф полный	Любая пара элементов соединена непосредственно хотя бы одним отношением	
Мультиграф	Много отношений между некоторыми элементами	
Цикл (для ребер). Контур (для дуг)	Замкнутые последовательности элементов и отношений	
Петля	Контур единичной длины, связывающий точку x саму с собой	
Цепь (для ребер). Путь (для дуг)	Последовательность элементов и отношений	
Прадерево	Один источник	
Дерево	Не менее двух вершин	
Сеть. Сетевой график	Соединение элементов, удовлетворяющее требованиям, предъявляемым к направленным графам (наличие источника, стока и отсутствие циклов)	
Структура системы	Любое соединение элементов	

Графические представления позволяют наглядно отображать структуры сложных систем и процессов, происходящих в них. С этой точки зрения их можно рассматривать как промежуточные между МФПС и МАИС.

Особую роль в моделировании процессов в сложных системах проектирования и управления играют представления операций во времени. Старейшими из таких представлений являются графики Ганта («время-операция» в прямоугольных координатах), которые первоначально применялись при планировании, контроле и управлении производством.

Графики Ганта выполнялись в форме чертежей, ленточных диаграмм с ручным, а в последующем и с автоматическим управлением. В последнем случае графики представляли собой бесконечные ленты, одна половина которых была окрашена в черный цвет (черный участок соответствовал продолжительности операции).

Дальнейшим шагом было разделение лент на отрезки времени, отображающие дискретные операции, что позволяло оперировать с дискретной информацией. В последующем на этой основе возникли представления совокупности дискретных операций в дискретном времени как множества событий, упорядоченных в двух измерениях — *сетевые структуры*. Далее на этой основе возникли прикладные теории — *PERT*¹, *сетевого планирования и управления*, а позднее и ряд методов *статистического сетевого моделирования* с использованием вероятностных оценок графов.

Первоначально методы СПУ широко применялись не только в управлении производственными процессами (где достаточно несложно построить сетевой график), но и в *системах организационного управления*.

Однако в последнем случае важно понимать основные недостатки СПУ.

Во-первых, эта теория первоначально была ориентирована на анализ только одного класса графов — *направленных* (не имеющих обратных связей, т.е. циклов, петель; такие требования содержались в руководящих материалах по формированию сетевых планов предприятий), и это явилось одной из причин того, что впоследствии при применении сетевых методов для отображения ситуаций, не подчиняющихся этим ограничениям, был использован термин «сетевое моделирование», снимающий требование о том, чтобы граф имел только одно направление.

¹ Program Evaluation and Review Technique — методика оценки и контроля программ.

Во-вторых, (что наиболее существенно) при формировании сетевых планов необходимо участие высококвалифицированных специалистов, хорошо знающих процессы в системе (эту работу нельзя поручить техническим работникам, которые полезны лишь при оформлении сетевых графиков и обработке результатов оценки). При этом по результатам исследования оказалось, что доля «ручного» труда ЛПР при разработке сетевого графика составляет по оценкам специалистов до 95% общих затрат времени на анализ ситуаций и процессов с использованием сетевого моделирования.

Для снижения доли «ручного» труда полезно сочетать графические представления с лингвистическими и семиотическими, разрабатывая языки автоматизации формирования сетевой модели. На основе такого сочетания методов возникли новые направления моделирования — *структурно-лингвистическое, графо-семиотическое* и т.п.

С более полным списком литературы по материалу данного параграфа можно познакомиться в словаре-справочнике по системному анализу и принятию решений [11]. Примеры разработки методик и языков моделирования, использующих подобные представления, приведены в гл. 6—9.

2.5. Методы активизации использования интуиции и опыта специалистов

Рассматриваемые методы возникали и развивались как самостоятельные, и для обобщения в теории систем вначале их называли *качественными* [80] (оговаривая условность этого названия, поскольку при обработке получаемых результатов могут использоваться и количественные представления) или *экспертными методами*, поскольку они представляют собой подходы в той или иной форме, активизирующие выявление и обобщение мнений опытных специалистов — экспертов¹.

¹ В широком смысле термин «эксперт» в переводе с латинского означает «опытный».

Однако есть и особый класс методов, связанных с непосредственным опросом экспертов, который называют методом экспертных оценок. Поэтому был принят термин, вынесенный в название главы. Этот термин, хотя и несколько громоздкий, в большей мере, чем другие, отражает суть методов, к которым прибегают специалисты в тех случаях, когда не могут сразу описать рассматриваемую проблемную ситуацию аналитическими зависимостями или выбрать тот или иной из рассмотренных выше методов формализованного представления для формирования модели принятия решения.

Возникновение характеризующих ниже подходов и методов, как правило, связано с конкретными условиями проведения исследований или даже с именами их авторов. Однако варианты последующего применения методов настолько разнообразны, что сейчас трудно говорить об однозначности использования их первоначальных названий, поэтому в некоторых подзаголовках подчеркивается, что выделяемый подкласс объединяет методы типа «мозговой атаки», «сценариев» и т.д.

Методы типа «мозговой атаки», или коллективной генерации идей. Концепция «мозговой атаки», или «мозго-

Методы выработки коллективных решений

вого штурма», получила широкое распространение с начала 50-х гг. XX в. как метод систематической тренировки творческого мышления, направленный на открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивного мышления [106].

Метод «мозговой атаки» основан на гипотезе, что среди большого числа идей имеются по меньшей мере несколько хороших, полезных для решения проблемы, которые нужно выявить. Методы этого типа известны также под названиями *коллективной генерации идей* (КГИ), *конференций идей*, *обмена мнениями*.

Обычно при проведении мозговой атаки или сессии КГИ стараются выполнить определенные правила, суть которых сводится к тому, чтобы обеспечить как можно большую свободу мышления участников КГИ и высказывания ими новых идей. Для этого рекомендуется сформулировать проблему в основных терминах, выделив центральный пункт обсуждения, высказывать и подхватывать любые идеи, даже если они вначале кажутся сомнительными или абсурдными (обсуждение и оценки идей проводятся позднее), не

допускать критики, не объявлять ложной и не прекращать обсуждать ни одну идею, высказывать как можно больше идей (желательно нетривиальных), стараться создавать как бы цепные реакции идей, оказывать поддержку и поощрения, необходимые для того, чтобы освободить участников от скованности и т.п.

В зависимости от принятых правил и жесткости их выполнения различают *прямую «мозговую атаку»*, *метод обмена мнениями*, *методы типа комиссий, судов* (в последнем случае создается две группы: одна группа вносит как можно больше предложений, а вторая старается максимально их раскритиковать). Мозговую атаку можно проводить в форме *деловой игры*, с применением тренировочной методики *стимулирования наблюдения*, в соответствии с которой группа формирует представление о проблемной ситуации, а эксперту предлагается найти наиболее логичные способы решения проблемы.

На практике подобием сессий КГИ являются совещательные органы разного рода — директораты, ученые, научные и координационные советы, специально создаваемые временные комиссии, комитеты, «мозговые тресты», не опирающиеся на постоянный персонал и т.п.

В реальных условиях достаточно трудно обеспечить жесткое выполнение требуемых правил, создать атмосферу мозговой атаки: на совещаниях у главного конструктора или генерального директора, заседаниях советов (научного, технического, координационного и др.) мешает влияние должностной структуры организации; собрать специалистов на межведомственные комиссии трудно. Поэтому желательно применять способы опроса компетентных специалистов, не требующие обязательного их присутствия и устного высказывания своих мнений в конкретном месте и в конкретное время, рассматриваемые далее.

Методы «мозговой атаки» применялись при разработке и реализации программ долгосрочных научных исследований НАТО, в военном прогнозировании. Однако уже в 60-е гг. XX в. из первостепенного метода источника идей и поиска кратчайшего пути решения проблемы МА превратилась во вспомогательное средство в методиках, использующих и другие методы анализа, и в настоящее время эти методы обычно используются в качестве одного из элементов методик системного анализа в форме проведения обсуждений предложений или промежуточных результатов

анализа, полученных с применением различных методов, на коллективных совещаниях типа «мозговой атаки».

Методы типа «сценариев». Методы подготовки и согласования представлений о проблеме или анализируемом объекте, изложенные в письменном виде, получили название «сценариев». Первоначально этот метод предполагал подготовку текста, содержащего логическую последовательность событий или возможные варианты решения проблемы, развернутые во времени. Однако позднее обязательное требование временных координат было снято, и сценарием стали называть любой документ, содержащий анализ рассматриваемой проблемы и предложения по ее решению или по развитию системы, независимо от того, в какой форме он представлен.

Как правило, на практике предложения для подготовки подобных документов пишутся экспертами вначале индивидуально, а затем формируется согласованный текст.

«Сценарий» предусматривает не только содержательные рассуждения, помогающие не упустить детали, которые невозможно учесть в формальной модели (в этом собственно и заключается основная роль сценария), но и содержит, как правило, результаты количественного технико-экономического или статистического анализа состояния страны, региона, отрасли с предварительными выводами. Группа экспертов, подготавливающая сценарий, пользуется обычно правом получения необходимых сведений от предприятий и организаций, необходимых консультаций.

На практике по типу «сценариев» разрабатывались прогнозы в отраслях промышленности. Разновидностью «сценариев» можно считать комплексные программы научно-технического прогресса и его социально-экономических последствий, которые разрабатывались в период реформ 70-х гг. XX в. специальными комиссиями при АН СССР, Госплане СССР и Госкомитете по науке и технике при Совете Министров СССР на последующие 20 лет.

Роль специалистов по системному анализу при подготовке сценария состоит в следующем:

- 1) помочь привлекаемым ведущим специалистам соответствующих областей знаний выявить общие закономерности развития системы;

- 2) проанализировать внешние и внутренние факторы, влияющие на ее развитие и формулирование целей;
- 3) провести анализ высказываний ведущих специалистов в периодической печати, научных публикациях и других источниках научно-технической информации;
- 4) создать вспомогательные информационные фонды, способствующие решению соответствующей проблемы.

В последующем понятие «сценария» расширяется как в направлении областей применения, так и форм представления и методов их разработки: в «сценарий» допускалось введение количественных параметров и установливание их взаимозависимости, предлагались методики подготовки «сценария» с использованием ЭВМ, методики целевого управления подготовкой «сценария».

«Сценарий» позволяет создать предварительное представление о проблеме (системе) в ситуациях, которые не удастся сразу отобразить формальной моделью. Однако «сценарий» — это все же текст со всеми вытекающими последствиями (синонимия, омонимия, парадоксы), обуславливающими возможность неоднозначного его толкования. Поэтому его следует рассматривать как основу для разработки более формализованного представления о будущей системе или решаемой проблеме.

Методы групповых дискуссий или дискуссионные методы. Эта разновидность методов выработки коллективных решений применяется при принятии управленческих решений.

Методы групповых дискуссий являются средством приобщения руководителей к выработке коллективного стиля руководства, повышают мотивацию и вовлеченность участников в решение обсуждаемых проблем. Ситуация групповой дискуссии стимулирует ассоциативное мышление. Этому благоприятствует эмоциональная атмосфера интеллектуального соперничества, складывающегося в ходе дискуссии.

Краткая характеристика основных методов групповых дискуссий приведена в табл. 2.13¹.

¹ Таблица составлена по материалам *В. В. Ходырева*, представленным в работе [12].

Таблица 2.13

Метод	Краткая характеристика
Метод анализа конкретных ситуаций (АКС). Разработан в 20-х гг. XX в. в Гарвардской школе бизнеса	<p>Проходит в несколько этапов.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Введение в изучаемую ситуацию и стоящую за ней проблему. 2. Постановка задачи — разбиение на группы, получение описания ситуации, время работы и т.д. 3. Групповая работа над поиском вариантов решения. 4. Групповая дискуссия, проводимая в форме поочередного выступления членов группы с обоснованием предлагаемого варианта решения и последующей общей дискуссии с обсуждением точек зрения и решений, оценкой результатов анализа и выбора наилучшего решения в данной ситуации
Балинтовая сессия	<p>Метод основан на принципе изложения своей проблемы другим и коллективном ее обсуждении. Главная цель — помочь человеку глубже вникнуть в эту проблему.</p> <p>Сессия балинтовой группы проводится следующим образом.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Каждый из участников в порядке очереди докладывает свою проблему. 2. Выбирается проблема для обсуждения. 3. Поочередно задаются вопросы. 4. Вносятся предложения, рекомендации. 5. Делаются обобщения и выводы
Метод «635»	<p>Этот метод объединяет идеи мозговой атаки и сценариев. Проводится в форме двух основных этапов.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Каждый из шести членов группы записывает основные три идеи для решения поставленной проблемы. Для этой цели, а также в целях предупреждения пространственного описания идей разработан бланк. 2. Основные идеи ($6 \times 3 = 18$) по очереди поступают к членам коллектива, каждый из которых дополняет их еще тремя мыслями, касающимися решения поставленной проблемы. После прохождения всех этих шести участков бланк содержит 108 идей. <p>Условием применения метода является то, что обмен информацией между членами группы разрешается только в письменном виде, что способствует большей обоснованности и четкости идей, чем устные высказывания</p>
Метод «ментаплан»	<p>Соединяет в себе преимущества метода «мозговой атаки», а также положительные черты визуального наблюдения. Шаги реализации метода состоят в следующем.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Дается поручение группе выявить проблему, составить карту потерь. Члены группы, отвечая на вопросы: «В чем состоят потери?», «Что собой представляют мобилизуемые резервы?», заполняют разноцветные карточки. <p>Карточки с ответами поступают на обобщенное табло, размер которого составляет примерно $1,6 \times 4$ м. На нем свободно размещаются 6—7 карточек каждого из 15 человек группы, т.е. всего 100—120 ответов, что обеспечивает хороший их обзор.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Карточки с ответами систематизируются в «банк» информации
Метод «за — против»	<p>При подготовке метода голосования группа определяет варианты решения проблемы и представляет их в схематичном виде так, чтобы основные характеристики могли наблюдаться всеми членами группы одновременно. Из множества вариантов выбираются необходимые варианты на заседании жюри путем балльной оценки вариантов каждым членом жюри. К каждому обсуждаемому варианту необходимо прикрепить по два представителя концепции «за» (т.е. «защитников», положительно характеризующих вариант) и столько же представителей концепции «против» (т.е. отвергающих вариант)</p>

Метод	Краткая характеристика
Метод Дельбека	Включает следующие этапы. 1. Определение проблемы. 2. Выявление факторов, способствующих и препятствующих достижению цели, взаимосвязи между ними; при этом члены экспертной группы предлагают факторы в письменном виде. 3. Разработка вариантов решения проблемы, выбор наилучшего варианта
Метод ролей	Метод ролей может быть использован: ■ для сбора данных, доказывающих правильность выбранной концепции; ■ предварительного ознакомления с контраргументами, которые могут возникнуть в процессе утверждения конкретного варианта решения проблемы и которые необходимо опровергнуть; ■ использования перечисленных выше данных и аргументов в целях совершенствования избранной концепции
Блочные методы	Вариантами данных методов являются метод «блока дискуссий» и метод «блока вопросов». Первый из них реализуется в форме дискуссии между 2—6 участниками перед аудиторией из 20—25 человек (которые должны быть активизированы в результате споров) об определенной проблеме. Причем в качестве обязательного условия не выдвигается однозначное определение проблемы. Выступающие выражают свои мнения в сжатой форме и быстро; выступления ораторов дополняются предложениями от участников дискуссии. Впоследствии к диспуту между участниками дискуссии подключается и вся аудитория. Второй — методически похож на первый. Опрашиваемые обсуждают поставленный вопрос в присутствии группы, определяют список, очередность возможных ответов. По завершении дискуссии группа оценивает важность (реальность, актуальность) заданных вопросов и поступивших ответов при помощи матрицы предпочтений
Дискуссия с разделением интеллектуальных функций	Эта форма выработки и принятия управленческих решений предусматривает разделение функций по генерации, развитию, обсуждению, критике и конкретной разработке идей между различными группами участников. Группа «генераторов» проводит мозговой штурм, стараясь выдвинуть максимальное количество идей по решению данной проблемы. Группа «эрудитов» развивает выдвинутые идеи в духе новейших достижений науки и техники. Группа «экспертов» подвергает предложенные идеи критическому анализу, может отвергнуть некоторые идеи или вернуть их на доработку «эрудитам» и «генераторам». В задачу «рабочей группы» входит окончательная редакция выдвинутых предложений, выработка плана мероприятий по их реализации

Методы структуризации

Структурные представления разного рода позволяют разделить сложную проблему с большой неопределенностью на более мелкие, лучше поддающиеся исследованию. Это само по себе можно рассматривать как некоторый метод исследования, именуемый иногда системно-структурным. Виды структур, получаемые путем расчленения системы во времени (сетевые структуры) или в пространстве (иерархические структуры разного рода, матричные структуры), были

рассмотрены в гл. 1 (см. рис. 1.10). Методы структуризации являются основой любой методики системного анализа, любого сложного алгоритма организации проектирования или принятия управленческого решения.

В особую группу методов структуризации можно выделить методы типа «дерева целей».

Методы типа «дерева целей». Идею метода «дерева целей» впервые предложил **У. Черчмен** (*W. Churchman*) в связи с проблемами принятия решений в промышленности [94]. Термин «дерево» подразумевает использование иерархической структуры, получаемой путем расчленения общей цели на подцели, а их, в свою очередь, на более детальные составляющие, которые в конкретных приложениях называют *подцелями* нижележащих уровней, *направлениями*, *проблемами*, а начиная с некоторого уровня — *функциями*.

Как правило, термин «дерево целей» используется для иерархических структур, имеющих отношение строго древовидного порядка, но иногда он применяется и в случае «слабых» иерархий. Поэтому более правильным является термин **В. М. Глушкова** «прогнозный граф», однако в силу истории возникновения метода более распространен исходный термин «дерево целей».

При использовании метода «дерева целей» в качестве средства принятия решений часто применяют термин «дерево решений». При применении метода для выявления и уточнения функций системы управления принят также термин «дерево целей и функций» [9, 66]. При структуризации тематики научно-исследовательской организации пользуются термином «дерево проблемы», а при разработке прогнозов — «дерево направлений развития (прогнозирования развития)» или «прогнозный граф».

Метод «дерева целей» ориентирован на получение полной и относительно устойчивой структуры целей, проблем, направлений, т.е. такой структуры, которая на протяжении какого-то периода времени мало изменялась бы при неизбежных изменениях, происходящих в любой развивающейся системе. Для достижения этого при построении вариантов структуры следует учитывать закономерности целеобразования и использовать принципы и методики формирования иерархических структур целей и функций, которые в силу их особой значимости для моделирования системных объектов рассматриваются более подробно в отдельной главе (см. гл. 5).

STEP- и SWOT-анализ. Это модели для анализа факторов социальных (*social*), технологических (*technological*), экономических (*economical*), политических (*political*) с точки зрения сильных (*the strong*) и слабых (*the weak*) сторон в деятельности предприятия или организации; для оценки возможностей (*opportunities*) и угроз (*threats*) компании в условиях конкурентной среды.

В теории систем STEP- и SWOT-анализ соответствует двум этапам методики системного анализа (см. параграф 2.4) — этапу формирования структуры целей и функций (на основе выделения социальных, технологических, экономических и политических составляющих, определяемых аббревиатурой «STEP») и этапу оценки составляющих этой структуры с точки зрения сильных, слабых сторон, возможностей и угроз (SWOT-анализ).

Методы портфельного анализа. Обеспечивают логическое структурирование и наглядность отображения информации о проблеме, относительную простоту представления результатов при использовании качественных критериев анализа.

Основаны на построении двумерных матриц, по одной оси которых фиксируются значения внутренних факторов (оценка конкурентоспособности подразделений организации), по другой — внешних (оценка перспектив развития рынка). С помощью этих матриц организации могут сравниваться друг с другом по ряду таких критериев как темпы продаж; конкурентная позиция; этапы жизненного цикла, количество видов продукции, включенных в лицензированные виды деятельности организации; доля рынка, которую занимают продукция или услуги организации; привлекательность рынка для организации и т.п.

Наиболее известной и универсальной является матрица Акоффа со значениями осей, приведенными в табл. 2.14.

Таблица 2.14

		Продукты	
		освоенные	новые
Рынки	освоенные	Совершенствование деятельности (обработка рынка)	Развитие продукта
	новые	Развитие рынка	Диверсификация

Дальнейшим этапом развития портфельного анализа явились работы Брюса Хендерсона, основателя Бостонской консалтинго-

вой группы. Осями первой матрицы БКГ были рост рынка/доля рынка, модель Портера, учитывающая факторы, наиболее значимые для конкурентной позиции предприятия.

В последующем на идеях матриц БКГ предложены трехмерные матрицы [47], оси которой образуют комплексные показатели: привлекательность рынка для организации, конкурентная позиция предприятия, конкурентоспособность товара.

Экспертными оценками называют группу методов, используемых для оценивания сложных систем на качественном уровне. Термин «эксперт» происходит от латинского слова *expert*, означающего «опытный».

Методы экспертных оценок

При использовании экспертных оценок обычно предполагается, что мнение группы экспертов надежнее, чем мнение отдельного эксперта. В некоторых теоретических исследованиях отмечается, что это предположение не является очевидным, но одновременно утверждается, что при соблюдении определенных требований в ряде случаев для некоторых проблем (см. ниже) групповые оценки можно сделать надежнее индивидуальных. Поэтому важно при организации экспертных опросов вводить определенные правила и использовать соответствующие методы получения и обработки экспертных оценок.

Алгоритм организации экспертных опросов и обработки оценок. Изучению особенностей и возможностей применения экспертных оценок посвящено много работ.

В них рассматриваются:

- проблемы формирования экспертных групп, включая требования к экспертам, размеры группы, вопросы тренировки экспертов, оценки их компетентности;
- формы экспертного опроса (разного рода анкетирования, интервью, смешанные формы опроса) и методики организации опроса (в том числе методики анкетирования, мозговая атака, деловые игры и т.п.);
- подходы к оцениванию (ранжирование, нормирование, различные виды упорядочения, в том числе методы предпочтений, парных сравнений и др.);
- методы обработки экспертных оценок;

- способы определения согласованности мнений экспертов, достоверности экспертных оценок (в том числе статистические методы оценки дисперсии, вероятности для заданного диапазона изменений оценок, ранговой корреляции Кендалла, Спирмена, коэффициента конкордации и т.п.) и методы повышения согласованности оценок путем соответствующих способов обработки результатов экспертного опроса.

Алгоритм организации экспертных опросов приведен на рис. 2.16.

С обзором форм и методов получения и обработки экспертных оценок можно познакомиться, например, в работах [11, 12, 14, 48 и др.].

В частности, **Б. Г. Литвак** [48] на основе обобщения и исследо-

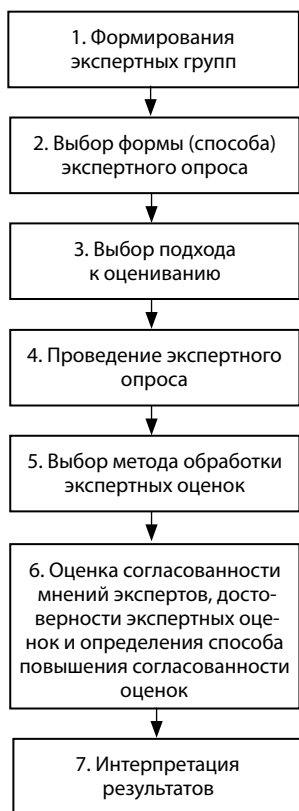


Рис. 2.16

вания видов шкал измерений и отношений рассматривает особенности мер близости разного рода (на неметризованных и векторных отношениях, структурные, Евклидовы), характеризует принципы и методы, основанные на выборе различных способов упорядочения и отношений предпочтения (в том числе методы ранжирования и гиперупорядочения, методы парных сравнений **Черчмена** — **Акоффа**, **Терстоуна**, метод «смешанной альтернативы» **фон Неймана** — **Моргенштерна**, принцип отбрасывания альтернатив **Эрроу**, алгоритмы отыскания медианы **Кемени**, метризованные ранжирования, алгоритмы выбора по принципу **Парето**, методы определения предпочтений на множествах многомерных альтернатив и т.п.).

К наиболее употребительным процедурам экспертных измерений относят [14, 48]: ранжирование, парное сравнение, множественные сравнения, непосредственная оценка, последовательное сравнение, метод **Терстоуна**, **Черчмена** — **Акоффа**, метод **фон Неймана** — **Моргенштерна**.

Целесообразность применения того или иного метода определяется характером анализируемой проблемы, используемой информации.

Если оправданы лишь качественные оценки объектов по тем или иным качественным признакам, то используются методы ранжирования, парного и множественного сравнения. Если характер анализируемой информации таков, что целесообразно получить численные оценки объектов, то можно использовать тот или иной метод, начиная от непосредственных численных оценок и кончая более тонкими методами *Терстоуна* и *фон Неймана — Моргенштерна*.

Методы экспертных оценок обладают различными качествами, но приводят в общем случае к близким результатам. Практика применения этих методов показала, что наиболее эффективно комплексное применение различных методов для решения одной и той же задачи. Сравнительный анализ результатов повышает обоснованность делаемых выводов. При этом следует учитывать, что методом, требующим минимальных затрат, является ранжирование, а наиболее трудоемким — метод последовательного сравнения (*Черчмена — Акоффа*). Метод парного сравнения без дополнительной обработки не дает полного упорядочения объектов.

При проведении социологических измерений, которые можно рассматривать как разновидность экспертных оценок (особенно в случае организации выборочного социологического исследования), используют обычно качественные шкалы разного рода, которым ставятся в соответствие количественные оценки степени значимости («очень важно», «важно», «скорее важно, чем нет» и т.д.) или оценивается введенный в вопросе качественный признак и вопрос формулируется в виде утверждения, а при ответе на него просят выразить степень согласия или несогласия с утверждением (в форме «полностью согласен», «согласен», «не согласен», «категорически не согласен» или «да», «скорее да, чем нет», «скорее нет, чем да», «нет» и т.д.).

При этом могут применяться соответствующие методы обработки результатов. Например, при использовании шкалы Лайкерта¹ задаваемые группе лиц вопросы должны оцениваться по пятибалльной шкале (5 баллов — «полностью согласен», 4 балла — «согласен», 3 балла —

¹ Likert, R. A. Technique for the measurement of attitudes / R. A. Likert // Archives of Psychology. — 1932. — Vol. 7. — № 140.

«нейтральный ответ», 2 балла — «не согласен», 1 балл — «полностью не согласен») и при обработке рекомендуется применять метод суммарных оценок. Шкалограммный анализ Гуттмана сводится к построению шкал порядкового уровня измерения, представляющих собой одноместные шкалы, формируемые на основе первоначально используемой ранжированной шкалы путем исключения вопросов или факторов, посторонних по отношению к измеряемой характеристике. При применении метода «семантического» дифференциала, разработанного Ч. Осгудом¹ для измерения смысла понятий и слов и дифференциации эмоциональной стороны значения оцениваемого понятия, в качестве промежуточных методов обработки применяются графические методы, помогающие определить профиль распределения установок.

Методы согласования оценок (*consensus technique*). Эти методы применяются при обработке индивидуальных экспертных оценок. Методы имеют много вариантов, различающихся способами, при помощи которых из индивидуальных оценок получается обобщенная.

При этом используются также различные методы согласования оценок:

- 1) простейшие, основанные на получении средней вероятности

$$p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$$

(где n — число участвующих экспертов) или средневзвешенного значения вероятности

$$p_w = \left(\sum_{i=1}^n k_i p_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n k_i \right)$$

(где k_i — веса, приписываемые оценке каждого эксперта);

- 2) специальные методы оценки измерения и повышения коэффициентов согласованности (или коэффициентов непротиворечивости) мнений экспертов;

¹ Осгуд, Ч. Приложение методики семантического дифференциала к исследованиям по эстетике и сложным проблемам / Ч. Осгуд, Дж. Суси, П. Танненбаум // Семiotика и искусствометрия : сб. статей. — М., 1972. — С. 355—359.

- 3) методы, основанные на отборе экспертной группы с высоким коэффициентом согласованности мнений. Например, метод, основанный на преобразовании первых трех рангов дискретной шкалы в непрерывную с последующим нормированием этой новой шкалы, отражающей мнения отобранных экспертов.

Нередко при обработке материалов коллективной экспертной оценки используются методы теории ранговой корреляции. Для количественной оценки степени согласованности мнений экспертов применяется коэффициент конкордации W , который позволяет оценить, насколько согласованы между собой ряды предпочтительности, построенные каждым экспертом. Его значение находится в пределах $0 \leq W \leq 1$; $W = 0$, означает полную противоположность, а $W = 1$ — полное совпадение результатов ранжирования. Практически достоверность считается хорошей, если $W = 0,7 \div 0,8$.

Небольшое значение коэффициента конкордации, свидетельствующее о слабой согласованности мнений экспертов, является следствием следующих причин: в рассматриваемой совокупности экспертов действительно отсутствует общность мнений; внутри рассматриваемой совокупности экспертов существуют группы с высокой согласованностью мнений, однако обобщенные мнения таких групп противоположны.

Для наглядности представления о степени согласованности мнений двух любых экспертов A и B служит коэффициент парной ранговой корреляции ρ , он принимает значения $-1 \leq \rho \leq +1$. Значение $\rho = +1$ соответствует полному совпадению оценок в рангах двух экспертов (полная согласованность мнений двух экспертов), а значение $\rho = -1$ соответствует двум взаимно противоположным результатам ранжирования важности свойств (мнение одного эксперта противоположно мнению другого).

В качестве одного из методов повышения согласованности экспертных оценок применяют метод «дельфийского оракула», или метод «Дельфи», на основе идей которого сформировался ряд модификаций.

Методы типа «Дельфи». Метод «Дельфи», или метод «дельфийского оракула», первоначально был предложен *О. Хелмером* и его коллегами [106] как итеративная процедура при проведении «мозговой атаки», которая способствовала бы снижению влияния психологических факторов при проведении заседаний и повышению объективности результатов. Однако почти одновременно «Дельфи»-

процедуры стали средством повышения объективности экспертных опросов с использованием количественных оценок при сравнительном анализе составляющих «деревьев целей» и при разработке «сценариев». Основные средства повышения объективности результатов при применении метода «Дельфи» — *использование обратной связи*, ознакомление экспертов с результатами предшествующего тура опроса и учет этих результатов при оценке значимости мнений экспертов.

В конкретных методиках, реализующих «Дельфи»-процедуру, эта идея используется в разной степени. Так, в упрощенном виде организуется последовательность циклов итераций при проведении мозговой атаки. В более сложном варианте разрабатывается программа последовательных индивидуальных опросов с использованием методов анкетирования, исключающих контакты между экспертами, но предусматривающих ознакомление их с мнениями друг друга между турами.

В развитых вариантах «Дельфи»-процедура представляет собой программу последовательных индивидуальных опросов с использованием методов анкетирования. Вопросники от тура к туру уточняются. Экспертам присваиваются весовые коэффициенты значимости их мнений (коэффициенты компетентности), вычисляемые на основе предшествующих опросов, также уточняемые от тура к туру и учитываемые при получении обобщенных результатов опроса. Для снижения таких факторов, как внушение или приспособляемость к мнению большинства, иногда требуется, чтобы эксперты обосновывали свою точку зрения, но это не всегда приводит к желаемому результату, а напротив, может усилить эффект приспособляемости или рассматриваемый ниже эффект Эдипа.

В силу трудоемкости обработки результатов и значительных временных затрат первоначально предусматриваемые рекомендации методики «Дельфи» не всегда удается реализовать на практике.

В последнее время «Дельфи»-процедура в той или иной форме обычно сопутствует любым другим методам моделирования систем — методу «дерева целей», морфологическому, сетевому и т.п. В частности, весьма перспективная идея развития методов экспертных оценок, предложенная **В. М. Глушковым**, состоит в том, чтобы сочетать целенаправленный многоступенчатый опрос с «разверткой» проблемы во времени, что становится вполне реализуемым при использовании ЭВМ.

Для повышения результативности опросов и активизации экспертов иногда сочетают «Дельфи»-процедуру с элементами деловой игры: эксперту предлагается проводить самооценку, ставя себя на место конструктора, которому реально поручено выполнение проекта, или на место работника аппарата управления, руководителя соответствующего подразделения системы организационного управления и т.д.

Особенности и недостатки методов экспертных оценок.

Выбор подходов и методов зависит от конкретных задач и условий проведения экспертизы. Однако существуют некоторые общие проблемы, которые необходимо понимать при проведении любых экспертных опросов. Кратко охарактеризуем их.

Возможность использования экспертных оценок, обоснование их объективности обычно базируется на том, что неизвестная характеристика исследуемого явления трактуется как случайная величина, отражением закона распределения которой является индивидуальная оценка специалиста-эксперта о достоверности и значимости того или иного события. При этом предполагается, что истинное значение исследуемой характеристики находится внутри диапазона экспертных оценок $p_i \in P$ (где $P = \langle p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n \rangle$ — репрезентативная выборка), получаемых от группы экспертов, и что обобщенное коллективное мнение является достоверным.

Однако в некоторых теоретических исследованиях это предположение подвергается сомнению.

Например, предлагается разделить проблемы, для решения которых применяются экспертные оценки, на два класса. К первому классу относятся проблемы, которые достаточно хорошо обеспечены информацией и для которых можно использовать принцип «хорошего измерителя», считая эксперта хранителем большого объема информации, а групповое мнение экспертов — близким к истинному. Ко второму классу относятся проблемы, в отношении которых знаний для уверенности в справедливости названных предположений недостаточно, экспертов нельзя рассматривать как «хороших измерителей», и необходимо осторожно подходить к обработке результатов экспертного опроса, поскольку в этом случае мнение одного (единичного) эксперта, уделяющего больше внимания, чем другие, исследованию малоизученной проблемы, может оказаться наиболее значимым, а при формальной обработке оно будет утрачено. В связи с этим к задачам второго

класса, в основном, следует применять качественную обработку результатов. Использование методов усреднения (справедливых для «хороших измерителей») в данном случае может привести к существенным ошибкам.

Задачи коллективного принятия решений по формированию целей, совершенствованию методов и форм управления обычно можно отнести к первому классу. При этом для повышения объективности результатов целесообразно при обработке оценок выявлять противоречивые и «редкие» мнения и подвергать их более тщательному анализу.

Другая особенность, которую нужно иметь в виду при применении экспертных оценок, заключается в следующем. Даже в случае решения проблем, относящихся к первому классу, нельзя забывать о том, что экспертные оценки несут в себе не только *узкосубъективные* черты, присущие отдельным экспертам, но и *коллективно-субъективные* черты, которые не исчезают при обработке результатов опроса (а при применении «Дельфи»-процедуры и методов повышения согласованности мнений экспертов даже могут усиливаться).

Для более популярного пояснения этой особенности, приняв, что одной из разновидностей экспертного опроса является голосование, приведем мнение одного из героев *Gu de Мопассана*¹: «Вы, вероятно, согласитесь со мной, что гениальные люди встречаются редко, не правда ли? Но будем щедры и допустим, что во Франции их имеется человек пять. Прибавим, с такой же щедростью, двести высокоталантливых людей, тысячу других, тоже талантливых, каждый в своей области и десять тысяч человек, так или иначе выдающихся. Вот вам генеральный штаб в одиннадцать тысяч двести пять умов. За ним идет армия посредственностей, за которой следует вся масса дурачьи. А так как посредственности и дураки всегда составляют огромное большинство, то нелегко представить, что они могли бы избрать разумное правительство». И далее, эмоционально усиливая свою точку зрения, Мопассан дает такие оценки ситуации: «... единственная сила, поддающаяся нашему измерению — это именно та, с которой меньше всего следовало бы считаться: бессмысленная сила большинства. ... Невежественное большинство всегда будет превалировать над гением, над наукой, над всеми накопленными знаниями...» и предлагает вводить корректировки в систему голосования, основанную на введении своего рода «коэффициентов компетентности» экспертов.

¹ Мопассан, *Gu de*. Полн. собр. соч. — Т. 1. — М., 1958. — С. 259—260.

Один из способов устранения недостатков, связанных с рассматриваемой особенностью, состоит в том, что при применении экспертных опросов для принятия решений в организационных системах следует обращать особое внимание на формирование экспертной группы и на методы обработки результатов опроса, особо выделяя и учитывая редкие и противоречивые мнения, а на получаемые усредненные оценки нужно смотреть как на некоторую «общественную точку зрения», зависящую от уровня научно-технических знаний общества относительно предмета исследования или принятия решения. При этом, естественно, такая «общественная точка зрения» может меняться по мере развития системы и наших представлений о ней, и экспертные опросы нужно повторять. Такой способ получения информации о сложной проблеме, характеризующейся большой степенью неопределенности, должен стать своего рода «механизмом» в сложной системе, т.е. необходимо создавать регулярную систему работы с экспертами.

Есть и еще одна особенность метода экспертных оценок, на которую обратил внимание **А. М. Гендин**, назвав ее эффектом Эдипа. Она заключается в том, что эксперт-лидер при организации экспертного опроса в форме «Дельфи»-процедуры с устным обсуждением результатов оценки между турами опроса может постепенно «увести» группу экспертов в желаемом направлении.

Следует обратить также внимание на то, что использование классического частотного подхода к оценке вероятности при проведении экспертных опросов бывает затруднено, а иногда и невозможно (из-за невозможности доказать представительность выборки). Поэтому в настоящее время ведутся исследования характера вероятности экспертной оценки, базирующиеся на теории размытых множеств Заде, на представлении об экспертной оценке как степени подтверждения гипотезы или как вероятности достижения цели (последнее направление развивается на основе информационного подхода, излагаемого в следующей главе).

Рассмотренные особенности экспертных оценок приводят к необходимости разработки методов организации сложных экспертиз, которые помогают, расчлняя большую неопределенность на части, вводя критерии оценки и применяя различные формы опроса, получать более объективные и достоверные оценки.

В поисках средств повышения объективности оценок разрабатывают методы и модели организации сложных экспертиз, такие,

как метод решающих матриц, методы, учитывающие несколько критериев и их весовых коэффициентов, методы, основанные на информационном подходе и др. Эти методы будут рассмотрены в гл. 6.

Метод комбинаторной топологии или симплициального комплекса

Этот метод, разработанный для анализа связности компонентов в системах, может быть также использован в качестве метода организации сложных экспертиз.

Топологические исследования сложных систем на основе изучения их структурных свойств были начаты в 1960—1970-е гг. Математические основы метода были заложены **К. Друкером** (*C. Droucer*) и получили развитие в работах британского физика **Р. Эткина** (*R. Atkin*), который разработал первый инструмент симплициального анализа, названный *q*-анализом. Эти работы послужили началом исследования сложности структур систем методом *q*-анализа или полиэдральной динамики. Наиболее полно метод комбинаторной топологии развит **Дж. Кастти** (*J. Casti*) [40].

Методика анализа *q*-связности позволяет судить о связности системы более глубоко, нежели традиционные исследования связности графа, и упорядочивать оцениваемые компоненты в порядке возрастания или убывания связности.

Для того чтобы наглядно изучить связность структуры, необходимо рассмотреть понятие комплекса. Симплициальный комплекс — это естественное математическое обобщение понятия планарного графа, отражающего многомерную природу бинарного отношения. Поскольку симплициальный комплекс по существу не что иное, как семейство симплексов, соединенных посредством общих граней, то естественной характеристикой связности могла бы служить размерность грани, общей двум симплексам. Если нас интересует комплекс в целом, то более целесообразно использовать понятие «цепь связи», отражающее тот факт, что два симплекса могут не иметь общей грани, но могут быть связаны при помощи последовательности промежуточных симплексов.

С учетом соображения размерности понятие «*q*-связности» может быть сформулировано следующим образом. Понятие «цепи связи» — *q*-связность — формулируется следующим образом: два симплекса σ_r и σ_p (r, p — геометрические размерности q соответствующих симплексов) комплекса K соединены цепью *q*-связи, если существует последовательность симплексов σ_{aq} , $q = 1, 2, \dots, n$ в K

такая, что $\sigma_{\alpha q}$ — грань σ_r , $\sigma_{\alpha n}$ — грань σ_p , $\sigma_{\alpha q}$ и $\sigma_{\alpha q+1}$ обладают общей гранью размерностью β для $q=1, 2, \dots, n-1$; $q = \min\{r, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, p\}$ (нижний индекс симплекса соответствует его геометрической размерности, т.е. $\dim \sigma_i = i$).

Задача изучения структуры связности комплекса K сводится к рассмотрению классов q -эквивалентности. Для каждого значения размерности $q = 0, 1, \dots, \dim K$ можно определить число различных классов эквивалентности Q_q . Эту операцию называют q -анализом комплекса K , а вектор $Q = (Q_{\dim K}, \dots, Q_1, Q_0)$ — первым структурным вектором комплекса.

Симплексы связывают посредством множества отношений Λ , так называемой матрицей инцидентности (или матрицей инциденций):

$$\Lambda = (\lambda_{ij}),$$

$$\text{где } \lambda_{ij} \begin{cases} = 1, & \text{если } W_i \text{ охвачен видом деятельности } F_j, \\ = 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Таким образом, отношение λ между двумя различными множествами F и W является подмножеством декартова произведения $\lambda = F \times W$. Если пара $(W_i, F_j) \in \lambda$, то говорят, что W_i находится в отношении λ к F_j . Это отношение представляют в виде матрицы инциденций $\Lambda = (\lambda_{ij})$:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (2.20)$$

$$\text{где } \lambda_{ij} \begin{cases} = 1, & (P_j F_j) \in \lambda \\ = 0, & (P_j F_i) \notin \lambda \end{cases}.$$

Симплициальный комплекс $K_x(Y; \lambda) = \{\delta_1^{(1)}; \delta_0^{(2)}; \delta_0^{(3)}; \delta_0^{(4)}\}$ состоит из следующих четырех симплексов:

$$\begin{aligned} X_1: \delta_1^{(1)}; \quad q = 2 - 1 = 1; \quad X_2: \delta_0^{(2)}; \quad q = 1 - 1 = 0; \\ X_3: \delta_0^{(3)}; \quad q = 1 - 1 = 0; \quad X_4: \delta_0^{(4)}; \quad q = 1 - 1 = 0. \end{aligned}$$

Графически на плоскости можно изобразить лишь симплекс размерности $q \leq 3$.

Алгоритм анализа q -связности.

1. Подсчет единиц в каждой i -й строке ($j = 1, 2, \dots, m$) и вычисление размерности симплексов комплекса $K_x(Y; \lambda)$:

$$q = q^{(i)} = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} - 1. \quad (2.21)$$

2. Подсчет единиц в каждом j -м столбце ($i = 1, 2, \dots, m$) и вычисление размерности симплексов комплекса $K_y(X; \lambda)$:

$$q = q^{(j)} = \sum_{i=1}^m \lambda_{ij} - 1. \quad (2.22)$$

3. Преобразование матриц.

Преобразование матрицы Λ в $^{(1)}\Lambda$ — упорядочивание i -х строк сверху вниз по правилу:

$$q_1^{(i)} > q_2^{(i)} > q_3^{(i)} > \dots > 0 > -1. \quad (2.23)$$

Преобразование матрицы $^{(1)}\Lambda$ в $^{(2)}\Lambda$ — упорядочивание j -х столбцов слева направо по правилу:

$$q_1^{(j)} > q_2^{(j)} > q_3^{(j)} > \dots > 0 > -1. \quad (2.24)$$

4. Построение симплициальных комплексов.

Построение комплекса $K_x(Y; \lambda) = \{\delta_q^{(i)}\}$; последовательность симплексов $\delta_q^{(i)}$ упорядочена по правилу (2.23) убывания их размерности.

Построение комплекса $K_y(X; \lambda) = \{\delta_q^{(j)}\}$; последовательность симплексов $\delta_q^{(j)}$ упорядочена по правилу (2.24) убывания их размерности.

5. Определение по матрице $^{(2)}\Lambda$ первого структурного вектора $Q_x = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_q, \dots, Q_1, Q_0\}$ комплекса $K_x(Y; \lambda)$. Для каждой размерности $q^{(i)}$ количество симплексов в каждом классе эквивалентности Q_q устанавливается по правилу: если хотя бы одна вершина симплекса не входит в предыдущий симплекс большей размерности, то это отдельный класс (т.е., если хотя бы одна единица i -й строки не входит в предыдущие строки $i-1, i-2, \dots, 1$, то соответствующий этой строке симплекс образует отдельный класс эквивалентности).

6. Определение по матрице $^{(2)}\Lambda$ первого структурного вектора $Q_y = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_q, \dots, Q_1, Q_0\}$ комплекса $K_y(X; \lambda)$. Для каждой размерности $q^{(j)}$ количество симплексов в каждом классе эквивалентности Q_q устанавливается по правилу: если хотя бы одна вершина симплекса не входит в предыдущий симплекс большей размерности, то это отдельный класс (т.е. если хотя бы одна единица j -столбца не входит в предыдущие столбцы $j-1, j-2, \dots, 1$, то соответствующий этому столбцу симплекс образует отдельный класс эквивалентности).

Несмотря на то что q -анализ оказывается довольно эффективным при изучении глобальной связности структуры, тем не менее он не дает необходимой информации о том, как каждый отдельный симплекс входит в весь комплекс. Поскольку индивидуальные свойства симплексов могут оказаться весьма существенными в рассматриваемой проблеме, важно уметь определять степень интегрированности каждого отдельного симплекса в структуре всего комплекса. С этой целью введено понятие «эксцентриситет».

Эксцентриситет симплекса σ задается формулой

$$\text{ecc}(\sigma) = (q' - q'') / (q'' + 1), \quad (2.25)$$

где q' — размерность симплекса σ ; q'' — наибольшее значение q , при котором σ становится связанным с каким-либо другим симплексом из K .

Таким образом, на основе бинарных оценок элементов матрицы инцидентий (что экспертам сделать легче, чем дать количественные оценки) можно получить более дифференцированные оценки эксцентриситета, которые позволяют упорядочить компоненты по критерию связности.

В настоящее время развивается направление моделирования, сочетающее методы комбинаторной топологии с когнитивным подходом [28], в соответствии с которым матрица инцидентий формируется на основе когнитивного графа.

Термином «морфология» в биологии и языкознании определяется учение о внутренней структуре исследуемых систем (организмов, языков) или сама внутренняя структура этих систем.

Морфологические методы

Морфологический способ мышления восходит к *Аристотелю* и *Платону*, к известной средневековой модели *Р. Луллия*. Идея морфологического метода была предложена швейцарским астрономом *Ф. Цвикки* [109], и долгое время морфологический подход к исследованию и проектированию сложных систем был известен под названием метода Цвикки. С историей развития морфологического подхода можно познакомиться в книге *В. М. Одрина* по морфологическому анализу технических систем [64], который систематизировал и развил методы морфологического анализа сложных проблем.

Основная идея морфологического подхода — систематически находить наибольшее число, а в пределе — все возможные варианты решения поставленной проблемы или реализации системы путем комбинирования основных (выделенных исследователем) структурных элементов системы или их признаков. При этом система или проблема может разбиваться на части разными способами и рассматриваться в различных аспектах.

Отправными точками системного исследования *Ф. Цвикки* считает: 1) равный интерес ко всем объектам морфологического моделирования; 2) ликвидацию всех оценок и ограничений до тех пор, пока не будет получена полная структура исследуемой области; 3) максимально точную формулировку поставленной проблемы.

Кроме этих общих положений, *Цвикки* предложил ряд отдельных способов (методов) морфологического моделирования: метод систематического покрытия поля, метод отрицания и конструирования, метод морфологического ящика, метод экстремальных ситуаций, метод сопоставления совершенного с дефектным, метод обобщения. Наибольшую известность получили три первых метода.

Метод систематического покрытия поля. Этот метод предполагает, что существует некоторое число «опорных пунктов» знания в любой исследуемой области. Этими пунктами могут быть теоретические положения, эмпирические факты, известные на данный момент компоненты сложной системы, открытые законы, в соответствии с которыми протекают различные процессы и т.п.

Исходя из ограниченного числа опорных пунктов знаний и достаточного числа принципов мышления (в том числе различных мер близости), с помощью МСПП ищут возможные варианты решения поставленной проблемы.

Метод отрицания и конструирования. Метод основывается на соображениях, которые *Ф. Цвикки* сформулировал следующим образом: «На пути конструктивного прогресса лежат догмы,

компромиссные или диктаторские ограничения. Следовательно, есть смысл их отрицать. Однако одного этого недостаточно. То, что получается из отрицания, необходимо конструктивно переработать» [64]. В соответствии с этим МОК реализуется с помощью трех этапов:

- 1) формирование ряда высказываний (положений, утверждений, аксиом и т.п.), соответствующих современному уровню развития исследуемой области знаний;
- 2) замена одного, нескольких или всех сформулированных высказываний на противоположные;
- 3) построение всевозможных следствий, вытекающих из такого отрицания и проверка непротиворечивости вновь полученных и оставшихся неизменными высказываний.

МОК может быть реализован в форме одного из методов «мозговой атаки» — метода «судов».

Метод морфологического ящика (ММЯ). Метод основывается на формировании и анализе морфологической матрицы, которую Цвикки называет *морфологическим ящиком* (МЯ). Построение и исследование морфологического ящика по Цвикки проводится в пять этапов:

- 1) формулировка поставленной проблемы;
- 2) определение параметров (классификационных признаков) P_n , от которых зависит решение проблемы (процедура анализа может быть итеративной с изменением набора P_n по мере уточнения представлений об исследуемом объекте или в процессе принятия решений);
- 3) деление параметров P_n на их значения $p_n^{k_i}$ (формирование классификаторов по выбранным признакам P_n) и представление их в виде матриц-строк

$$\begin{array}{c}
 [p_1^1, p_1^2, \dots, p_1^{k_1}]; \\
 \diagdown \\
 [p_2^1, p_2^2, \dots, p_2^{k_2}]; \\
 \downarrow \\
 [p_n^1, p_n^2, \dots, p_n^{k_m}];
 \end{array} \quad (2.26)$$

набор значений (по одному из каждой строки) различных параметров представляет собой возможный вариант решения моделируемой задачи: например, вариант $\langle p_1^1, p_2^2, \dots, p_n^2 \rangle$; общее число вариантов, содержащихся в морфологическом ящике, равно

$$R = k_1 \times k_2 \times \dots \times k_i \times \dots \times k_m,$$

где k_i ($i = 1, 2, \dots, m$) — число значений i -го параметра;

- 4) оценка всех имеющихся в морфологическом ящике вариантов;
- 5) выбор наилучшего варианта решения задачи (у *Цвикки* — оптимального решения, что, строго говоря, неверно).

С математической точки зрения идея морфологического перебора базируется на получении размещений с повторениями из k по n , число которых в общем случае подсчитывается как показано в этапе 3, а в частном случае при одинаковом числе значений каждого из параметров (т.е. при $k_1 = k_2 = \dots = k_i = \dots = k_m = k$) определяется с помощью известной теоремы комбинаторики

$$R_k^n = k^n, \quad (2.27)$$

где n — число строк МЯ; k — число элементов в каждой строке.

Для сокращения перебора этапы 3 и 4 могут быть совмещены, и явно неприемлемые варианты можно сразу исключить из рассмотрения на этапе 5.

Следует отметить, что, строго говоря, речь об оптимизации идти не может. Идею поиска наилучшего варианта (вариантов) решения лучше квалифицировать как постепенно ограничиваемый перебор, который с самого начала сокращается благодаря формированию морфологического ящика (число размещений с повторениями меньше числа сочетаний). По мере увеличения объемов морфологического ящика разрыв увеличивается и ограничение перебора сказывается в большей степени, затем область выбора решения ограничивается в результате исключения явно неприемлемых вариантов, а дальнейшее ограничение области возможных решений можно организовать путем введения и учета количественных, а затем (при прочих равных условия) и качественных критериев подобно тому, как это предлагается в примерах применения ММЯ в планировании при позаказной системе производства в гл. 4.

Возможны следующие пути выбора решений из МЯ (рис. 2.17): применение одного критерия, полностью исключающего все варианты решений, кроме одного (рис. 2.17, а); последовательное применение нескольких критериев А, В, С, постепенно исключающих все варианты, кроме одного (рис. 2.17, б); расчленение проблемы на подпроблемы (или задачи на подзадачи) и последовательное применение нескольких критериев для выбора по одному варианту решения по каждой из подпроблем (подзадач), которые вместе взятые и составляют искомое решение (рис. 2.17, в).

В последнем случае может быть получено не одно решение, составленное из решений подпроблем, а несколько таких решений, и тогда для уменьшения этих вариантов дальнейшее сужение области допустимых решений может осуществляться путем введения дополнительных критериев (как правило, качественных), как это делается, например, в гл. 4.

Следует также оговорить, что решения по подпроблемам, из которых формируется общий вариант решения, могут быть взаимозависимыми, что также иллюстрируется в примерах в гл. 4 (в частности, при размещении по линиям сборки один и тот же заказ не может в соответствующем плановом периоде помещаться на разные взаимозаменяемые линии сборки).

Ф. Цвикки и его последователи разрабатывали и исследовали МЯ различного вида.

Например, известен вариант построения МЯ, в котором значения одного и того же параметра откладывались и по горизонтальной, и по вертикальной осям двумерной матрицы-«ящика», а варианты решений полу-

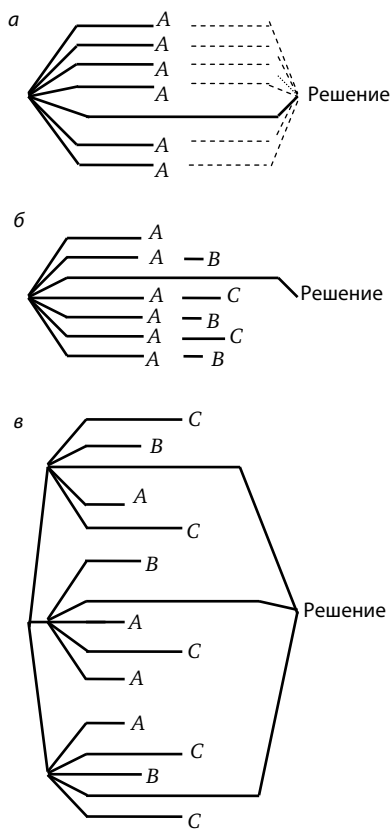


Рис. 2.17

чались на пересечении различных значений параметров, т.е. варианты решений являлись элементами этой матрицы.

Морфологические ящики могут быть также не только двумерными. Трехмерные и большей размерности МЯ находят, например, применение при разработке прогнозов и при макропроектировании вариантов новой техники.

Однако при формировании и анализе многомерных МЯ, особенно при анализе проблем организационного управления, возникают существенные трудности в их представлении лицам, принимающим решения, в интерпретации результатов. Поэтому удобнее, используя идею морфологического подхода, разрабатывать языки моделирования (автоматизации моделирования, автоматизации проектирования и т.п.), которые применяются для «порождения» возможных ситуаций в системе, возможных вариантов решения и часто как вспомогательное средство формирования нижних уровней иерархической структуры целей и функций или организационных структур систем управления. В этом случае термин «морфологический подход» применяется в более широком смысле.

Предложенные **Ф. Цвикки** методы нашли широкое применение как средство активизации изобретательской деятельности. А при моделировании задач автоматизации проектирования, задач планирования, например, распределения заказов по плановым периодам, размещения их по производствам, линиям сборки и т.п., удобным средством оказался ММЯ, который охарактеризуем несколько подробнее.

Обратим внимание на тот факт, что при формировании морфологической таблицы (морфологического ящика) другие методы морфологического моделирования могут использоваться как вспомогательные.

В практике объемно-календарного планирования оказалось удобным как бы перевернуть двумерный МЯ и комбинировать не элементы строк, а элементы столбцов (такие таблицы привычнее для работников плановых отделов).

Расширению практического применения ММЯ существенно способствует автоматизация морфологического моделирования. При этом важно автоматизировать не только получение вариантов решения, т.е. собственно перебор, но и получение оценок этих вариантов, и даже формирование МЯ. Примеры алгоритмов автоматизации морфологического моделирования приведены в гл. 4.

2.6. Выбор методов моделирования систем

Для выбора методов моделирования систем с самого начала развития теории систем и системного анализа применялись классификации систем, которые предлагались для того, чтобы ограничить выбор подходов к отображению системы, сопоставить выделенным классам приемы и методы системного анализа и дать рекомендации по выбору методов для соответствующего класса систем.

Так, классификации систем по *виду отображаемого объекта* (технические, биологические, экономические и т.п. системы), *виду научного направления* (математические, физические, химические и др.) ориентируют на выбор методов, используемых для моделирования этих видов систем.

Разделение систем на *детерминированные* и *стохастические* прямо указывает на вид используемых методов.

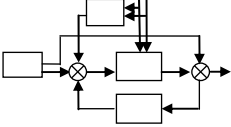
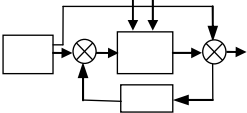
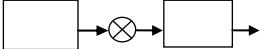
Оценивая классификации систем *по степени сложности* с точки зрения выбора методов их моделирования, следует отметить, что такие рекомендации (вплоть до выбора математических методов) имеются в них только для классов относительно низкой сложности (в классификации *К. Боулдинга*, например, — для уровня неживых систем), а для более сложных систем оговаривается, что дать такие рекомендации трудно.

Для большего соответствия термину «более высокоорганизованная материя» табл. 1.2, приведенная в гл. 1, «перевернута» (табл. 2.15). На нижний уровень помещен наименее организованный класс неживых систем, к которому можно отнести кристаллы, искусственные объекты завершенной конструкции (дома, мебель и т.п.) — статические системы. На следующий — простейшие динамические, которым может быть поставлена в соответствие модель программного управления (рис. 2.15). Выше — кибернетические системы с циклами обратной связи, название которых определяет модель управления по отклонениям (рис. 2.16).

Таким образом, эти три уровня неживых систем могут исследоваться на основе моделей, разрабатываемых специальными дисциплинами, и в частности — теорией автоматического регулирования.

Кратко поясним их.

Таблица 2.15

Тип системы	Уровень сложности	Примеры	Концепции, модели
Живые системы	Трансцендентные системы или системы, лежащие в настоящий момент вне нашего познания		Интегральные концепции
	Социальные системы	Социальные организации	Социологические концепции Интегральные концепции
	Системы, характеризующиеся самосознанием, мышлением и нетривиальным поведением	Люди	Физиологические, психологические концепции
	Живые организмы с более развитой способностью воспринимать информацию, но не обладающие самосознанием	Животные	Биологические концепции и модели
	Живые организмы с низкой способностью воспринимать информацию	Растения	Химические и биологические концепции и модели
	Открытые системы с самосохраняемой структурой (первая ступень, на которой возможно разделение на живое и неживое)	Гомеостат Клетки	Кибернетические модели 
Неживые системы	Кибернетические системы с управляемыми циклами обратной связи	Термостат	Модель обратной связи 
	Простые динамические структуры с заданным законом поведения	Часовой механизм	Модели специальных дисциплин. Программное управление 
	Статические структуры (остовы)	Кристаллы	Физико-математические концепции и модели

Принципы управления теории автоматического регулирования

Формирование конкретных принципов управления началось в технике. Была разработана теория автоматического регулирования, которая в последующем была расширена до более широкого применения и названа теорией автоматического управления. Большим достижением теории автоматического управления являются общие принципы управления, разработанные в этой теории, которые названы *фундаментальными*

и являются достаточно общими. Эти принципы пытаются применить и для управления в социально-экономических системах.

Основными из этих принципов являются следующие.

1. Принцип разомкнутого, или программного, управления.

Сущность принципа состоит в том, что управление осуществляется с помощью заданного алгоритма или программы.

Условно этот принцип управления представлен на рис. 2.18, на котором показаны: устройство, вырабатывающее программу или закон функционирования $x(t)$, объект управления, помехи z_j , выходной результат $y_{\text{вых}}$, устройство, которое принято обозначать специальным знаком — кругом, разделенным на секторы, вырабатывающее совокупность управляющих воздействий $u(t)$ или выявляющее наличие рассогласования результата с требуемым (как на рис. 2.18).

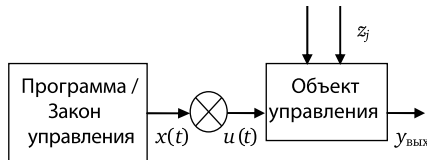


Рис. 2.18

В некоторых случаях блок выработки закона управления и управляющее устройство совмещены.

Схема имеет вид *разомкнутой* цепи, в которой основное воздействие передается от входа к выходу, выполняя заданную *программу* (закон функционирования), что и дало название принципу. При таком принципе управления помехи z_j могут исказить желаемое $y_{\text{вых}}$. Тем не менее благодаря простоте этот принцип широко используется.

Пример

По разомкнутому принципу построены устройства пуска музыкальной шкатулки, магнитофона и других аудиоустройств, станки с программным управлением, управление конвейером.

Подобием этого принципа можно считать управление работой раба в рабовладельческом обществе на начальной ступени его развития при жестоких рабовладельцах, не учитывавших потребностей раба как

человека, подавляющего его человеческое достоинство и принуждающего четко выполнять предписанную программу.

2. Принцип компенсации, или управления по возмущениям. Этот принцип называют также принципом управления с упреждением.

При таком принципе используется устройство, измеряющее помехи и вырабатывающее компенсирующие воздействия, которые корректируют закон управления (рис. 2.19).

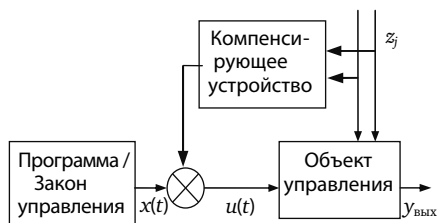


Рис. 2.19

Устройство такого рода называют *компенсирующим устройством*.

Пример

Простейшим примером такого принципа являются устройства, обеспечивающие стабилизацию напряжения при колебаниях постоянного тока. К настоящему времени в теории автоматического управления разработано много разнообразных компенсационных механизмов, в соответствии с типом которых выделяют подклассы устройств и даже детализируют принцип компенсационного управления в соответствии с этими видами устройств.

Этот принцип используется при планировании на предприятиях: при разработке планов учитывается, что производительность труда зависит от износа оборудования, от квалификации рабочих, смены и т.п., и при расчете времени на выполнение плановых заданий вводятся соответствующие корректировки в форме коэффициентов износа оборудования, коэффициентов сменности и т.п.

Применительно к управлению обществом можно считать, что в условиях феодального строя помещик старается учитывать в какой-то мере человеческие потребности крепостного работника, чтобы избежать

бунтов или снискать любовь крепостных, что обеспечивало условия для более эффективного их труда.

3. Принцип обратной связи, или управления по отклонению.

Принцип иллюстрируется рис. 2.20. Получаемые значения $y_{\text{вых}}$ корректируются на основе измерения отклонений Δy от требуемого результата $y_{\text{треб}}$, называемого в теории автоматического управления «уставкой».

Понятие обратной связи легко иллюстрируется на примерах технических и электронных устройств. Однако при использовании этого понятия применительно к социально-экономическим системам это понятие не всегда верно интерпретируется.

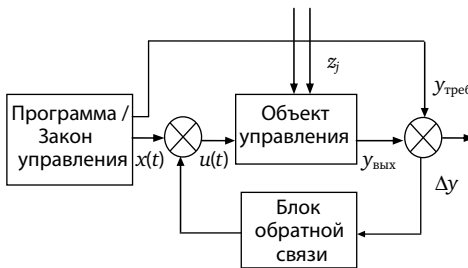


Рис. 2.20

Часто ограничиваются только фиксацией рассогласования Δy между требуемым $y_{\text{треб}}$ и фактическим $y_{\text{вых}}$ значением регулируемого параметра, а необходимо учитывать и реализовать все элементы, не забывая замкнуть контур обратной связи, вырабатывая в блоке обратной связи соответствующие управляющие воздействия, которые скорректируют закон управления $x(t)$.

Обратная связь может быть:

- *отрицательной* — противодействующей тенденциям изменения выходного параметра, т.е. направленной на сохранение, стабилизацию требуемого значения параметра (например, стабилизацию выходного напряжения, или в системах организационного управления — количества выпускаемой продукции и т.п.);

- *положительной*, сохраняющей тенденции происходящих в системе изменений того или иного выходного параметра (что используется при разработке генераторов разного рода, при моделировании развивающихся систем).

Примером строя, основанного на использовании стабилизирующей (отрицательной) обратной связи в управлении, является классический капитализм: обратная связь обеспечивается регулированием рынка рабочей силы, т.е. увольнением работников при перепроизводстве товаров или, напротив, дополнительным приемом на работу при необходимости увеличить производство товаров.

4. Совмещение принципов *обратной связи и управления с упреждением*.

Для совершенствования управления используют различные способы совмещения принципов управления (например, модель типа приведенной на рис. 2.21).

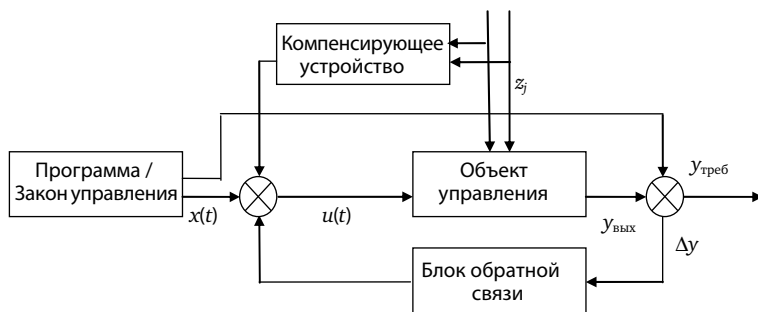


Рис. 2.21

Совмещение принципов используют и в социально-экономических системах. Поскольку реализация принципа обратной связи связана с безработицей и социальными проблемами, при развитии капиталистического строя используются компенсационные механизмы в форме социальных программ (пособие по безработице и т.п.), уменьшающих возможность кризисов.

По принципу обратной связи функционируют основные регуляторы организма человека (при прикосновении к горячему утюгу человек автоматически отдергивает руку и т.п.). Такой эффект подобен работе термостата (регулятора температуры). Но регуляторы человека только в раннем детстве работают по принципу термостата. В последующем,

обжегшись или оступившись несколько раз, ребенок приобретает условный рефлекс, оберегающий его от боли, и регуляторы человека начинают работать по принципу, называемому гомеостазом, упрощенной моделью которого может быть сочетание принципов управления, приведенное на рис. 2.21.

Приведенные принципы позволяют также глубже понять проблему адаптации.

Адаптация — в широком смысле способность системы приспосабливаться к изменяющимся условиям среды, помехам, исходящим от среды и оказывающим влияние на систему. Адаптация определялась также как способность системы обнаруживать целенаправленное приспособляющееся поведение в сложных средах [53].

Адаптация к среде, характеризующейся высокой неопределенностью, позволяет системе обеспечивать достижение целей в условиях недостаточной априорной информации о среде. Если система не может приспособляться к изменениям окружающей среды, то она погибает.

В процессе приспособления могут изменяться: *количественные характеристики* системы (например, параметры автопилота при изменении динамических характеристик летательного аппарата); *структура* системы (например, ящерица способна отбрасывать хвост при необходимости, аналогично способность корректировки организационной структуры считается полезной характеристикой предприятия и организации, обеспечивающей их адаптивность); *корректироваться закон функционирования, поведение* системы.

В развивающихся системах существуют различные формы адаптации: рост системы, настройка и самонастройка, обучение и самообучение, объединение систем в коллектив и, наоборот, — распад системы на отдельные части и т.д.

Высокоорганизованные адаптивные системы обладают, кроме того, способностью изменять внешнюю среду для того, чтобы не было необходимым изменение поведения системы, т.е. способны корректировать внешние условия для достижения своих целей.

Простые формы адаптивного поведения наблюдаются у регуляторов, в технических системах с обратной связью. Этот принцип адаптации иллюстрирует рис. 2.20.

Пример

Такой принцип применяется, например, в устройствах, обеспечивающих стабилизацию напряжения при колебаниях постоянного тока, в бортовой аппаратуре автоматически управляемых космических летательных аппаратов.

В более развитых моделях адаптивного поведения применяется сочетание принципов обратной связи и компенсирующего устройства (см. рис. 2.21). С помощью такой модели можно объяснить функционирование основных регуляторов организма человека, формирование условных рефлексов (например, при накоплении опыта прикосновения к горячему утюгу, человек в дальнейшем автоматически отдергивает руку, даже если утюг не горячий и т.п.).

Наиболее развитую теорию адаптации применительно к техническим системам разработал **Я. З. Цыпкин** (см. ссылки в [11]). Он исследовал различные формы регулирования в технических системах и показал, что моделью адаптивного поведения можно считать управление с упреждением (или компенсационное управление). При этом в теории Цыпкина устройство, измеряющее помехи и вырабатывающее компенсирующие воздействия, которые корректируют закон управления, представлено как *интегратор* или *дигратор* (при дискретных помехах) для накопления помех до уровня, при котором необходима корректировка закона управления.

Сочетание принципов обратной связи и дигратора (вместо компенсирующего устройства на рис. 2.18) представляет собой одну из моделей *гомеостата*, которую исследовали в первых работах по моделированию процессов адаптации.

Проблему адаптации применительно к живым, биологическим системам, и в частности, при моделировании мозга, исследовал **У. Р. Эшби** [103]. В дальнейшем понятие адаптации, наблюдаемое в биологических системах и исследуемое вначале для технических систем, стали применять для социально-экономических систем.

Формы адаптационного поведения социально-экономических систем весьма разнообразны. Адаптационное поведение проявляется в изменении поведения системы в условиях нестабильной среды с целью поддержания существенных переменных в определенных границах, сохранения основных свойств системы или ее структуры.

Поддержание в определенных границах существенных переменных экономических систем (таких, например, как прибыль, рентабельность, объем выпуска продукции, объем реализации, себестоимость продукции, фонд зарплаты и т.п.), сохранение основных свойств системы называют иногда *экономическим гомеостазом*.

В последующем стал осознаваться тот факт, что на нестабильность системы могут влиять не только *внешние* помехи, но и *внутренние* факторы нестабильности системы, применительно к которым тоже можно говорить об адаптации и необходимости создания адаптационных механизмов.

Исследования нелинейных развивающихся систем с неопределенностью показали, что каждая система в своем развитии проходит через максимум адаптационных возможностей, после чего наступает фаза размножения. В результате этих исследований **М. Б. Игнатьев**¹ был открыт феномен *адаптационного максимума*.

Наиболее сложной формой адаптации обладают *самоорганизующиеся системы*. При этом исследование адаптационных механизмов приводит к анализу сложных проблем противоречия стабильности (управляемости) и свободы инициатив, которые играют важную роль в обеспечении развития системы и ее приспособляемости к изменяющимся условиям (как внешним, так и внутренним), т.е. к исследованию проблемы *устойчивости развивающихся систем*.

Рассматриваемые модели для пояснения представлены в графической форме. Однако они могут быть отображены и формальными аналитическими методами, которые помогают проводить исследования функционирования и устойчивости систем. Они в основном применяются для исследования технических систем. Но могут применяться и для объяснения принципов построения и функционирования объектов более высокоорганизованной природы — для моделирования рефлексов животных и человека, процессов регулирования параметров живых организмов (давления, температуры и т.п.), и даже — с некоторым приближением для объяснения принципов, положенных в основу соответствующих формаций социальной сферы.

¹ Игнатьев, М. Б. Голономные автоматические системы / М. Б. Игнатьев. — М. : изд. АН СССР, 1963.

Здесь имеется аналогия с действием закона рекапитуляции *Э. Геккеля*, в соответствии с которым стадии, через которые проходит организм в процессе своего развития, повторяют эволюционную историю группы, к которой он относится. Видимо, поэтому в высокоорганизованных системах есть процессы, которые могут быть отображены методами и моделями, разрабатывавшимися для неживых систем. На этом основана и возможность применения математических методов для моделирования некоторых процессов в живых системах.

Классификации систем по степени организованности и модели, основанные на обмене информацией со средой

Характеризуя особенности классов *живых систем*, *К. Боулдинг* (см. табл. 2.15) вначале использует признак *открытости* системы и в качестве признака классификации использует *обмен информацией со средой*.

Открытые системы с самосохраняемой структурой — первая ступень, на которой возможно разделение на живое и неживое. В качестве примеров первой ступени живого *Боулдинг* приводит клетки и процессы гомеостазиса, которые пытались моделировать с использованием формальных моделей, с помощью моделей адаптации, сочетания принципов обратной связи и компенсационного управления (см. рис. 2.21).

В последующем для исследования открытых систем, которые собственно и послужили для *Берталанфи* основой выделения теории систем в самостоятельную науку, исследовались их принципиальные особенности по сравнению с закрытыми системами и закономерности, их объясняющие (см. параграф 1.3); разработаны классификации этих особенностей (см. табл. 1.5), в том числе классификация систем *по степени организованности* (см. табл. 1.4), которая позволяет дать наиболее четкие рекомендации по выбору методов моделирования систем

Представление объекта в виде *хорошо организованной системы* возможно в тех случаях, когда исследователю удастся определить все элементы системы и их взаимосвязи между собой и с целями системы в виде *детерминированных* (аналитических, графических) зависимостей.

Тогда в ряде случаев проблемная ситуация может быть отображена в виде *выражений, связывающих цель со средствами* (т.е. в виде критерия функционирования, критерия или показателя эффек-

тивности, целевой функции и т.п.), которые могут быть представлены уравнением, формулой, системой уравнений или сложных математических моделей, включающих и уравнения, и неравенства, и др., т.е. *аналитическими методами*.

На представлении классом хорошо организованных систем основано большинство моделей физических процессов и технических систем.

Если не удастся описать проблемную ситуацию аналитическими выражениями, то иногда можно отобразить связи между компонентами системы в виде графических моделей. Например, в виде сетевых графов, с помощью которых можно исследовать процессы проектирования, планирования, транспортные задачи, и принимать решения о выборе оптимальной структуры изделия, плана, пути перевозки.

Представление объекта в виде хорошо организованной системы применяют в тех случаях, когда может быть предложено детерминированное описание (объекта или проблемной ситуации) и экспериментально показана правомерность его применения, т.е. экспериментально доказана адекватность модели реальному объекту или процессу.

Однако применение класса хорошо организованных систем для представления сложных технических комплексов, совершенствования управления предприятиями и организациями и т.д., начиная с некоторого уровня их сложности, может оказаться невозможным.

Во-первых, формирование модели может потребовать недопустимо больших затрат времени.

Пример

При решении задачи планирования движения транспорта в большом городе практически невозможно сформировать аналитическую модель. А при попытке сформировать графическую модель на основе построения графа передвижения жителей (даже если учесть только их доставку из дома на работу), потребуется недопустимо много времени. Пока такая модель будет сформирована, многие уже успеют поменять места работы, жительства.

Во-вторых, если даже удастся получить аналитическую модель, то может оказаться невозможным поставить эксперимент, доказывающий ее адекватность.

Пример

При проведении исследований по организации космических полетов эксперимент становится не только дорогостоящим, но и практически нереализуемым. При прогнозировании развития экономики, даже если удастся разработать аналитическую модель и получить рекомендации по изменению принципов управления, то эксперимент необратим.

Поэтому в большинстве случаев при исследовании сложных многокомпонентных объектов или многокритериальных задач на начальных этапах их отображают классами, характеризующимися далее.

В первую очередь, следует попытаться представить проблемную ситуацию в виде *плохо организованной* или *диффузной* системы.

При представлении объекта этим классом систем на основе *выборочного* исследования получают характеристики или *закономерности* (статистические, экономические и т.п.), и распространяют эти закономерности на поведение системы в целом.

При этом делаются соответствующие оговорки. Например, при использовании статистических методов полученные закономерности распространяют на поведение системы с какой-то *вероятностью*, которая оценивается с помощью специальных приемов, изучаемых математической статистикой.

Такие отображения дают приемлемые результаты при решении задачи организации работы транспорта в городе. В этом случае можно не исследовать все пути передвижения жителей, а провести выборочный опрос пассажиров с помощью вручения им соответствующих талонов при посадке и сбора их при выходе. И на основе такого опроса делают выводы о необходимости введения или исключения соответствующих маршрутов, сокращения или увеличения плановых перерывов в движении транспорта в различные периоды суток и т.п.

Аналогично, при решении задач обслуживания читателей в библиотеке, планирования ремонта оборудования и других задач массового обслуживания на основе выборочного исследования определяют закономерности, проявляющиеся в этих проблемных ситуациях, и распространяют их на весь ход процессов обслуживания с какой-то вероятностью.

Отображение объектов в виде статистических закономерностей находит широкое применение при определении пропускной способности систем разного рода, при определении численности

штатов в обслуживающих, например, ремонтных цехах предприятия и в обслуживающих учреждениях (для решения подобных задач развивается теория массового обслуживания), при исследовании документальных потоков информации и т.д.

Аналогично государства пытаются применять экономические закономерности и гипотезы, используя опыт их проявления в других странах.

Однако при использовании закономерностей необходимо также определять правомерность их применения.

При статистических исследованиях необходимо доказать представительность (репрезентативность) выборки, на основе которой получают закономерность, для чего существуют специальные методы математической статистики.

Для определения правомерности применения экономических закономерностей исследуют возможности использования теории рисков.

Если не удастся доказать репрезентативность выборки и допустимость риска, или для этого необходим слишком большой период времени, то следует обратиться к представлению объекта или проблемной ситуации классом систем, названным в рассматриваемой классификации самоорганизующимися.

Отображение объектов в виде самоорганизующихся систем позволяет исследовать наименее изученные объекты и процессы с большой неопределенностью на начальном этапе постановки задачи.

Класс *самоорганизующихся* или *развивающихся* систем характеризуется рядом признаков, особенностей, приближающих их к реальным развивающимся объектам. Эти особенности, как правило, обусловлены наличием в системе *активных* элементов и носят двойственный характер: они являются новыми свойствами, полезными для существования системы, приспособляемости ее к изменяющимся условиям среды, но в то же время вызывают неопределенность, затрудняют управление системой.

Представление объекта этим классом систем основано на постепенном формировании модели на основе использования методов активизации интуиции и опыта лиц, принимающих решение, и методов формализованного представления систем. Такое моделирование становится как бы своеобразным «механизмом» развития системы. Практическая реализация такого «механизма» приводит к необходимости создания языка моделированию про-

цесса принятия решения. В основу такого языка (знаковой системы) может быть положен один из методов моделирования систем (например, теоретико-множественные представления, математическая логика, математическая лингвистика, имитационное динамическое моделирование, информационный подход и т.д.), но по мере развития модели методы могут меняться.

При этом адекватность модели доказывается последовательно по мере формирования модели, путем оценки правильности отражения проблемной ситуации на каждом последующем шаге ее отображения.

В ходе исследования особенностей высокоорганизованных объектов в теории систем был выявлен еще один фактор, который наряду с понятием открытости влияет на развитие системы. Это — негэнтропийные тенденции, активность элементов системы. Благодаря этому фактору в системах наблюдаются процессы самоорганизации, исследуемые в синергетике.

Закономерности, подходы и методы теории открытых систем первоначально *Л. фон Берталанфи* иллюстрировал в основном на примерах животных и растений, а в последующем философы, развивающие теорию систем (*В. Г. Афанасьев, В. Н. Садовский, А. И. Уёмов, В. С. Тюхтин* и др.), стали распространять ряд закономерностей систем на социально-экономические объекты.

Для характеристики классов живых систем *К. Боулдингом* вводится новый признак классификации — «обмен информацией со средой»: растения — со слабой способностью воспринимать информацию, животные — с более развитой способностью воспринимать информацию.

Возникла необходимость более глубокого осмысления понятия «информации» по сравнению с ее трактовкой в кибернетике как средства передачи сообщений.

Первоначально пытались рассматривать информацию как форму существования материи, трактуя материю как триаду «масса, энергия, информация».

В частности, понятие «информации» как философской категории *А. Д. Урсул*¹ стал рассматривать вначале как форму существования материи подобно массе и энергии, а в последующем — связывать понятие «информации» с отражением материи.

¹ Урсул, А. Д. Информация / А. Д. Урсул. — М. : Наука, 1971. — С. 295.

Информацию стали трактовать как важнейший ресурс развития живых систем, и особенно социально-экономических объектов. Однако последующие исследования особенностей информации по сравнению с материальными ресурсами (неубываемость информации по мере ее распространения, неаддитивность, некоммуникативность и неассоциативность, семантический характер и языковая природа, но в то же время независимость информации от языка и носителя информации, проявление закономерности концентрации и ее рассеяние, т.е. интеграция и дифференциация информации и т.п.) вызвали необходимость более глубокого переосмысления понятия и роли информации.

В *теории информационного поля* [33] информация рассматривается как *структура материи*, как категория, парная по отношению к материи, ее отражение. В этой теории показано, что существуют различные формы существования информации, вводятся понятия *чувственной и логической* (семантической и прагматической) информации, которые для удобства практических приложений названы *информацией восприятия* и *информационным потенциалом*. Эти виды информации согласуются с чувственной и логической формами мышления человека, помогают объяснить противоречия в сознании человека между двумя картинками мира (картиной, полученной посредством органов чувств, через наблюдение, и картиной, полученной с помощью разума, логики, рационального мышления), обнаруженные еще в древности *Парменидом* и представленные *Г. Кантом* в терминах «вещь в себе» (ноумен) и «вещь для нас» (феномен).

Информационный подход (рассматриваемый в гл. 3) развивает *диалектическую концепцию* естествознания, ставшую по мнению философов, занимающихся исследованием концепций естествознания, приоритетной в XX в. При этом теория представляет процессы восприятия информации, проявление законов диалектики в формализованном виде, более приемлемом европейской культурой. Развитие информационного подхода позволяет надеяться на то, что с помощью этого подхода можно глубже понять и исследовать наиболее высокоорганизованные сферы природы — социально-экономическую, а возможно — и даже трансцендентную сферу.

При моделировании наиболее сложных процессов (например, процессов целобразования, совершенствования организационных структур и т.п.) «механизм» развития (самоорганизации) может быть реализован в форме методики системного анализа.

2.7. Понятие о методике системного анализа

О разработке методик системного анализа

Методика системного анализа разрабатывается и применяется в тех случаях, когда у лиц, принимающих решения, на начальном этапе нет достаточных сведений о проблемной ситуации, позволяющих выбрать метод ее формализованного представления, сформировать математическую модель или применить один из новых подходов к моделированию, сочетающих качественные и количественные приемы.

В таких случаях может помочь представление объекта в виде системы, организация процесса коллективного принятия решений с привлечением специалистов различных областей знаний, с использованием разных методов формализованного моделирования (МФПС) и методов активизации интуиции ЛПР (МАИС), со сменой методов по мере познания объекта (или ситуации).

Для того чтобы организовать такой процесс, нужно определить последовательность этапов, рекомендовать методы для их выполнения, предусмотреть при необходимости возврат к предыдущим этапам. Такая последовательность определенным образом выделенных и упорядоченных этапов с рекомендованными методами и приемами их выполнения представляет собой структуру методики системного анализа.

Примеры выделения этапов в первых методиках системного анализа приведены в табл. 2.16.

Анализируя методики системного анализа, можно увидеть, что во всех методиках в той или иной форме представлены следующие этапы:

- 1) выявление проблем и постановка целей (укрупненные этапы I и II);
- 2) разработка вариантов и модели принятия решения (этап III);
- 3) оценка альтернатив и поиска решения (этап IV) и его реализации (этап V);
- 4) оценка эффективности решений и последствий их реализации (этап VI, который присутствует в некоторых методиках СА);
- 5) проектирование организации для достижения целей (этот этап также присутствует в некоторых методиках СА, и его можно было бы вынести в отдельный укрупненный этап VII).

Таблица 2.16

Этапы методик системного анализа					
Укрупненные этапы	по С. Оптнеру (С. П. Никанорову)	по Э. Квейду	по С. Янгу	по Е. П. Голубкову	по Ю. И. Черняку
I	1. Идентификация симптомов	1. Постановка задачи — определение существа проблемы, выявление целей и определение границ задачи		1. Постановка задачи	1. Анализ проблемы 2. Определение системы
II	2. Определение актуальности проблемы	2. Поиск — сбор необходимых сведений, определение альтернативных средств достижения целей		2. Исследование	3. Анализ структуры системы
III	3. Определение цели 4. Вскрытие структуры системы и ее дефектных элементов 5. Определение структуры возможностей		1. Определение целей систем 2. Выявление проблем организации 3. Исследование проблем и постановка диагноза	3. Анализ	4. Формирование общей цели и критерия 5. Декомпозиция цели, выявление потребности в ресурсах и процессах 6. Выявление ресурсов и процессов, композиция целей
IV	6. Нахождение альтернатив 7. Оценка альтернатив	3. Толкование — построение модели и ее использование	4. Поиск решения проблемы 5. Оценка всех альтернатив и выбор наилучшей из них	4. Предварительное суждение	7. Прогноз и анализ будущих условий 8. Оценка целей и средств

Окончание табл. 2.16

Укрупненные этапы	Этапы методик системного анализа			
	по С. Оптнеру (С. П. Никанорову)	по Э. Квейду	по С. Янгу	по Е. П. Голубкову
V	8. Выбор альтернативы	4. Рекомендация — определение предпочтительной альтернативы или курса действий	6. Согласование решений в организации	9. Отбор вариантов
	9. Составление решения			
	10. Признание решения коллективом исполнителей и руководителей		7. Утверждение решения	10. Диагноз существующей системы
	11. Запуск процесса реализации решения		8. Подготовка к вводу	11. Построение комплексной программы развития
VI	12. Управление процессом реализации решения	5. Подтверждение — экспериментальная проверка решения	9. Управление применением решения	6. Окончательное суждение
	13. Оценка реализации решения и ее последствий		10. Проверка эффективности решения	7. Реализация принятого решения
				12. Проектирование организации для достижения целей

При этом в методиках этапы по-разному детализированы.

В одних методиках основное внимание уделяется разработке и исследованию альтернатив принятия решений (*Э. Квейд* [43]), в других — этапу обоснования цели и критериев, структуризации цели (*Ю. И. Черняк* [92], *С. Янг* [105]). В третьих — наиболее важным является выбор решения (*С. Оптнер* [65]), в четвертых — есть и этап управления процессом реализации уже принятого решения (*Е. П. Голубков* [27])), а в наиболее полной методике *Ю. И. Черняка* особо предусмотрен этап проектирования организации для достижения цели.

При оформлении методики в качестве документа сохраняют последовательность этапов, определяемую структурой методики, кратко характеризуют сущность этапов, методы и сроки их выполнения, указывают исполнителей и ЛПР. При необходимости изменения последовательности выполнения этапов (в соответствии с включаемыми в структуру методики этапами выбора дальнейшего пути) в конце характеристики каждого этапа (подэтапа) оговаривают условия возврата к предшествующим этапам или переход к выбранному последующему.

Таким образом, методика системного анализа разрабатывается для того, чтобы организовать процесс принятия решений в сложных проблемных ситуациях. Она должна ориентировать ЛПР на необходимость обоснования полноты формирования и исследования модели принятия решения, адекватно отображающей рассматриваемый объект или процесс. Как правило, в методике сочетаются методы из групп МАИС и МФПС, но могут существовать методики, использующие методы только одной из этих групп. Желательно, чтобы в методике предусматривалась возможность выбора методов моделирования.

В реальных условиях выполнение отдельных этапов может занимать достаточно много времени.

Пример

Этап обследования существующей системы управления предприятием и формулирования технического задания (как показал процесс создания АСУ) может длиться год и более. Аналогично достаточно много времени требуют и этапы анализа целей и определения альтернатив решения.

Поэтому для более четкого выполнения этапов возникает необходимость большей их детализации, разделения этапов на подэтапы, и более четкого определения конечных результатов их выполнения.

В частности, в методике **Ю. И. Черняка** каждый из 12 этапов (см. табл. 2.16) разделен на подэтапы, число которых в общей сложности равно 72.

Включать большое число этапов и подэтапов в единую методику, реализуемую в течение нескольких лет, неудобно. Такая методика становится труднообозримой и мало пригодной для практического применения, и поэтому часто весь процесс принятия решения делят на подпроцессы (или подзадачи), и отдельно разрабатывают методику анализа целей, методику формирования и исследования альтернативных вариантов принятия решения, методику реализации принятых решений.

При разработке системы методик для совершенствования управления предприятиями следует отдельно разрабатывать методику совершенствования (преобразования) организационной структуры предприятия (как одного из важнейших средств достижения целей). Можно также разработать отдельную методику обследования существующей системы, однако этот этап чаще удобнее предусмотреть в каждой из методик, поскольку полное обследование существующей системы организационного управления практически неосуществимо без уточнения целей обследования на каждом этапе проектирования организации.

Обобщая опыт системного анализа, можно рекомендовать при разработке методики, ориентированной на исследование одной из задач всего процесса принятия решения, вначале выделить два крупных этапа, которые отделяют процесс собственно формирования модели от процедуры ее оценки и анализа, так как эти этапы обычно выполняются с использованием разных методов.

В обобщенном виде эти этапы можно назвать следующим образом.

1. Формирование первоначального варианта (вариантов) модели принятия решения (структуры целей, организационной структуры, сетевой или другого вида модели альтернативных вариантов решения и т.п.).

2. Оценка, анализ первоначального варианта (вариантов) модели принятия решений (структуры целей, организационной структуры и т.п.) и выбор наилучшего варианта (или корректировка первоначального варианта, если он был единственным).

Возможные наименования этих этапов применительно к конкретным задачам — анализа целей, разработки организационной структуры и т.п. — приведены в табл. 2.17.

Таблица 2.17

Решаемая проблема (задача)	Обозначение этапа	
	1	2
Анализ целей. Формирование основных направлений развития предприятия или организации. Выбор структуры плана	Формирование первоначального варианта (вариантов) структуры целей (направлений, плана)	Оценка, анализ первоначального варианта (вариантов) структуры целей (плана) и выбор наилучшего варианта или корректировка структуры
Разработка (совершенствование) организационной структуры управления предприятием (регионом и т.п.)	Разработка первоначального варианта (вариантов) организационной структуры	Оценка первоначального варианта (вариантов) организационной структуры и выбор наилучшего (или корректировка существующего)
Организация процесса принятия решения (для управленческой или проектной задачи)	Формирование первоначальной модели принятия решения (вариантов решения, путей реализации управленческого решения)	Анализ модели принятия решения и выбор наилучшего варианта (пути) решения задачи
Организация процесса реализации решения (для управленческих решений)	Формирование вариантов прохождения решения в организационной структуре системы управления (вариантов организационно-технологических процедур подготовки и реализации решения)	Анализ вариантов прохождения решения в организационной структуре организации и выбор наилучшего варианта организационно-технологической процедуры подготовки и реализации управленческого решения

Если после выделения подэтапов их число окажется небольшим (например, 7—9, что соответствует рекомендациям гипотезы Миллера), то их можно перенумеровать по порядку и при оформлении методики рассматривать как последовательность ее этапов.

При большом числе подэтапов целесообразно сохранить первоначально выделенные крупные этапы. Более того, если в методике предусматривается возможность выбора методов реализации этапов и подэтапов, то подэтапы могут быть еще более детализированы (примеры таких методик приведены в последующих главах).

Первоначально выделенные этапы могут быть разделены на подэтапы. Разделение этапов на подэтапы зависит от задачи и от выбранных методов реализации этапов. Примеры разделения этапов на подэтапы в методике анализа целей при выборе различных методов реализации этапов приведены в табл. 2.18.

Таблица 2.18

Но- мер под- этапа	Разделение этапов на подэтапы с учетом методов их реализации		
	при выборе подходов в процессе реализации методики	при выборе для реализации этапа 1 метода «сценариев»	при выборе для реализации этапа 1 метода «дерева целей»
1.1	Отделение системы от среды (отграничение) путем перечисления (определения) включаемых в нее элементов или путем описания ее основных свойств	Этап 1 Подготовка (написание) сценария Формирование сетевой модели определяющей варианты решения, содержащиеся в сценарии	Формулирование обобщенной (глобальной) цели (предварительная формулировка)
1.2	Выбор подхода по представлению (отображению) системы (проблемной ситуации)		Выбор подхода к формированию «дерева целей»
1.3	Формирование первоначального варианта (вариантов) модели принятия решений (варианта структуры целей, организационной структуры и т.п. в зависимости от выбранного подхода к решению задачи)		Выбор признаков структуризации (при формировании структуры целей «сверху»). Выбор принципов группирования функций (при использовании подхода «снизу»). Объединение результатов, если использовались оба подхода
2.1	Выбор подхода к оценке модели принятия решения (варианта структуры целей, организационной структуры и т.п.)	Этап 2 Выбор подхода к оценке сетевой модели (вариантов решения) Выбор критериев оценки сетевой модели	Выбор подхода к оценке «дерева целей»
2.2	Выбор критериев оценки (требований, ограничений, их размерностей)		Формирование экспертных групп и выбор критериев оценки. Выбор источников и видов косвенных количественных оценок
2.3	Проведение оценки (включая выбор подходов и методов оценивания)	Проведение оценки	Организация экспертных опросов. Получение косвенных количественных оценок
2.4	Обработка оценок	Обработка оценок	Обработка оценок
2.5	Анализ полученных результатов оценок и выбор наилучшего варианта решения (структуры целей, организационной структуры и т.п.)		Анализ результатов обработки оценок и корректировка «дерева целей» или выбор лучшего варианта (если их было несколько)

Выделенные два укрупненных этапа методики могут повторяться поочередно несколько раз, так как решение, принятое на втором этапе, может помочь уточнить модель, формируемую на первом.

Например, помогает уменьшить или расширить область допустимых решений (как это, например, предусмотрено в методике морфологического моделирования в гл. 4).

Этапы могут повторяться до тех пор, пока решение будет получено. Для принятия решения о необходимости повторения этапов в методике также следует предусмотреть соответствующий подэтап.

Рассматриваемым двум этапам методики системного анализа можно поставить в соответствие STEP- и SWOT-анализ, предложенные в теории менеджмента и охарактеризованные в параграфе 2.5.

Подводя итоги сказанному, можно рекомендовать при разработке методики системного анализа прежде всего определить тип решаемой задачи (проблемы). Затем, если проблема охватывает несколько областей — и выбор целей, и совершенствование организационной структуры, и организацию процесса принятия и реализации решений, — то выделить в ней эти задачи, а разработку методики для каждой из них начинать с выделения двух рассмотренных крупных этапов.

Предварительный выбор подходов и методов выполнения этапов может быть отражен в методике сразу, в формулировках подэтапов (как, например, в табл. 2.17), но часто желательно предусмотреть в методике несколько методов выполнения этапов и возможность выбора путей реализации методики ЛПП в конкретных условиях ее применения.

Некоторые подэтапы в методике могут выполняться параллельно, и тогда методику удобно представлять в виде сетевой модели, т.е. в виде графических схем с последовательными и параллельными этапами (см. примеры методик в последующих главах). При таком представлении методики в ней легко отразить возможность возврата к предыдущим подэтапам и соответствующие подэтапы выбора дальнейшего пути.

На практике иногда трудно разработать и полностью реализовать методику, в которой все этапы и подэтапы были бы проработаны равноценно, и поэтому для сокращения затрат времени и

труда в методике могут быть более подробно регламентированы те этапы и подэтапы, которые в конкретных условиях требуют к себе большего внимания. Для практической реализации методики следует стремиться автоматизировать выполнение ее подэтапов.

О выборе подходов и методов при разработке и реализации методики системного анализа

Различные этапы и подэтапы методики системного анализа можно выполнять с использованием разных методов и подходов. При этом методы могут выбираться как из числа формальных, так и из числа методов, направленных на активизацию интуиции и опыта ЛПР.

При выполнении *первого* из рассмотренных основных этапов методики, т.е. при формировании первоначального варианта (вариантов) модели принятия решения или структуры (сетевой, типа «дерева»), наиболее часто используются методы из группы МАИС — «сценарии», «мозговая атака», методы структуризации, морфологический подход. Особую роль играют древовидные иерархические представления, при формировании которых можно применять оба из упомянутых выше подходов — «сверху» (путем расчленения системы или ее обобщенной цели) и «снизу» (путем объединения первоначально перечисляемых элементов системы в группы различной общности, относящиеся к разным уровням формируемой иерархической структуры).

В ряде случаев (наряду с МАИС) можно использовать и методы формализованного представления систем. Для разработки языков моделирования (первоначального отображения модели, вариантов принятия решения) все более широкое распространение получают теоретико-множественные, логические, лингвистические представления. Первоначальные варианты принятия решений могут быть представлены в виде сетевых моделей и других видов графов. Может применяться и форма постановки задачи в виде модели математического программирования, т.е. определения целевой функции, ограничений.

Иногда эта форма применяется и в тех случаях, когда целевая функция и ограничения не могут быть сразу представлены в виде аналитических зависимостей или получены противоречивые ограничения. На такой идее, в частности, базировались первые методики системного анализа С. Оптнера [65] и Э. Квейда [43].

Можно предусмотреть использование нескольких методов для формирования первоначального варианта модели принятия решения, нескольких методик структуризации целей. В процессе формирования модели методы могут меняться, в выборе МФПС могут помогать методы из группы МАИС.

Спектр подходов и методов, которые применяются для реализации *второго* этапа, еще более широк. При этом практически ни одна методика не обходится без использования экспертных оценок, различных приемов их получения и методов обработки — от традиционного усреднения полученных от экспертов оценок до методов организации сложных экспертиз и оптимизационных моделей, использующих экспертные оценки в качестве исходной основы. Некоторые примеры методов организации сложных экспертиз в задачах планирования и управления приведены в последующих главах.

При затруднении в проведении экспертных процедур возможно применение косвенных количественных оценок (идея которых предложена в одной из методик системного анализа, рассматриваемой в гл. 5), базирующихся на использовании в качестве источника оценок различного рода деловых документов (включая директивные) и источников научно-технической информации, отражающих опыт компетентных специалистов.

Для организации сложных экспертиз, особенно при анализе факторов на первом этапе методики, можно применять метод решающих матриц *Г. С. Поспелова* (охарактеризованный в параграфе 6.1) и подход, основанный на использовании различного рода оценок степени целесообразности, в том числе с использованием информационных оценок (см. параграф 6.3).

При формировании и анализе вариантов структур разного рода может возникнуть необходимость их оценивания с точки зрения формы представления, от которой (как будет показано на примерах сравнительной оценки иерархических структур с использованием информационного подхода в гл. 3 и 5) зависит целостность системы, характеризующая степень централизации управления.

Выбор методов формирования и оценки моделей в методике системного анализа зависит от степени неопределенности проблемной ситуации, для исследования или управления которой разрабатывается методика. Поэтому при разработке методики целесообразно вначале обосновать, каким классом систем может быть отображена проблемная ситуация, и на этой основе решать вопрос о выборе методов моделирования.

Пример

Можно использовать рекомендации о соответствии с классами систем и МФПС (см. параграф 2.1).

При этом, если проблемную ситуацию удалось отобразить с помощью класса хорошо организованных систем и применить методы поиска экстремумов функций или методы математического программирования, то процесс исследования проблемы (решения задачи) будет описываться в терминах этих формализованных методов, и о методике системного анализа в этих случаях нет необходимости говорить, хотя целесообразно представлять алгоритм формирования и анализа таких моделей в графической форме, что будет способствовать итеративной корректировке моделей и интерпретации результатов моделирования. Аналогично, если удастся применить для моделирования задачи один из новых подходов, объединяющих средства МАИС и МФПС (например, имитационное динамическое моделирование, ситуационное моделирование и т.п.), то обычно говорят о методике ИДМ, или о методике ситуационного моделирования, и т.д. (а не о методике системного анализа).

В методике системного анализа, как отмечалось выше, может быть предусмотрено использование нескольких методов. В этих случаях методы должны быть охарактеризованы в приложениях к методике и предусмотрены подпункты этапов выбора методов с учетом конкретных условий и предпочтений ЛПР.

Для более полной реализации методики разрабатываются средства автоматизации. Для ряда этапов они разрабатываются в виде специализированных диалоговых процедур (например, автоматизированной диалоговой процедуры анализа целей и функций, рассматриваемой в гл. 5) или прикладных программ, реализующих разработанные с помощью методики алгоритмы (например, алгоритм формирования и анализа морфологической модели планирования в гл. 4, алгоритмы реализации методов организации сложных экспертиз в гл. 6).

Темы для самоконтроля

1. Принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся систем с активными элементами.
2. Классификации методов моделирования систем.

3. Классификации методов формализованного представления систем (МФПС).
4. Основные особенности и возможности методов математического программирования, математической статистики, дискретной математики. Сферы применения этих классов методов.
5. Применение классификаций систем при выборе методов их моделирования.
6. Методы системного анализа, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов (МАИС).
7. Методы и подходы к формированию вербального описания проблемной ситуации (типа «мозговая атака», «сценариев» и т.п.).
8. Подходы к исследованию систем: целевой или целенаправленный («сверху»); терминальный, морфологический, лингвистический, тезаурусный («снизу»).
9. Методы структуризации (декомпозиции) систем. Методы типа «дерева целей» и «прогнозного графа».
10. Основные принципы и методы реализации морфологического подхода Ф. Цвики.
11. Методики системного анализа.
12. Специальные методы системного анализа.
13. Основные особенности и возможности структурно-лингвистического моделирования.
14. Основные особенности и возможности ситуационного управления Д. А. Поспелова.
15. Принципы разработки методик системного анализа.

ГЛАВА 3

Информационный подход к анализу систем

Специфика системного анализа, как отмечалось в гл. 1, состоит в том, что он, с одной стороны, должен основываться на методах качественного анализа (опираться на научное мировоззрение), а с другой стороны, использовать методы формализованного представления систем. При этом по сравнению с другими видами качественного анализа (например, философским) системный анализ отличается стремлением к формализации или хотя бы символизации логических процедур исследования систем. Применение для этого традиционных формальных логик бесперспективно, поскольку они в силу метафизичности и наличия закона исключенного третьего не рассчитаны на анализ противоречивых элементов и развивающихся систем. Отразить взаимоотношения элементов во всем их многообразии способна только диалектическая логика, которая, чтобы стать средством системного анализа, нуждается в символизации.

С учетом сказанного в 1974 г. [33] был предложен подход, базирующийся на диалектическом обобщении законов функционирования и развития систем различной физической природы. Подход первоначально был ориентирован на отображение и анализ пространственно-распределенных систем, опирался на аппарат математической теории поля и был назван теорией информационного поля [33]. В дальнейшем на основе этой теории был получен вариант информационного описания объектов с сосредоточенными параметрами (т.е. с выделением дискретных элементов [34, 35]), что часто более удобно для исследования реальных объектов и процессов.

После изучения данной главы студент должен:

знать

- основные понятия информационного подхода — чувственная информация (информация восприятия), логическая и прагматическая информация, информационная сложность;
- детерминированные и вероятностные информационные меры;
- параметры, характеризующие кинематику и динамику информационных процессов, — объем понятия об отображаемом объекте

в формируемой модели, время восприятия, ригидность, сопротивляемость восприятию нового;

- принципы применения информационного подхода для макроэкономического моделирования;

уметь

- интерпретировать понятия информационного подхода применительно к объектам различного вида и назначения;

владеть

- навыками применения информационного подхода для сравнительного анализа иерархических структур.
-

3.1. Основные понятия информационного подхода

В соответствии с излагаемым подходом понятие «*информация*» рассматривается как парная категория по отношению к *материи*, как структура материи, не зависящая от специфических ее свойств.

В гносеологии для отображения всех способов получения информации принят обобщающий термин «*отражение*», а для обозначения всех первичных источников информации, принят обобщающий термин «объективная реальность».

Здесь необходимо отметить, что отказ марксистской философии от гегелевской «абсолютной идеи» совершенно не оправдан.

Конечно, для религиозного сознания «абсолютная идея» тождественна «Закону Божьему», но это вовсе не значит, что нерелигиозный светский человек должен отказаться от признания логики природы как совокупности ее (природы) законов функционирования (к примеру, закона всемирного тяготения). Но тогда объективная реальность включает в себя, во-первых, материю (вещество, субстанцию) и, во-вторых, логику жизни материи.

Эта логика двояка: одна ее часть («дьявольская») образует законы возрастания энтропии (хаотической однородности), другая («божественная») — закон сохранения неоднородности материи (структуры). Первая, к примеру, реализуется в таких физических законах, как закон Ньютона и закон Кулона для разноименных электрических зарядов, которые норовят все слить в единый блок с неразличимыми частями. Вторая, напротив, норовит «комком» материи распределить на части некоторой структуры (к примеру, закон инерции и центробежной силы, а также

закон Кулона для одноименных зарядов). Борьба этих противоположностей в рамках единой логики (диалектики) природы является источником развития материи.

Основными формами существования информации являются понятия «чувственного отражения» в форме чувственной информации (или информации восприятия), «логической информации» (или «информационного потенциала») и их логического пересечения, названного в рассматриваемой теории «информационной сложностью» (содержанием, смыслом).

В общем случае отражение не полностью адекватно отражаемому объекту, поэтому имеет смысл говорить об информации для нас как результате отражения и об информации в себе как атрибуте самой материи. Поскольку материя существует в пространстве, она тем самым всегда имеет структуру. Именно структура как распределение материи в пространстве характеризуется количественно и является информацией в себе.

Воспроизведение же структуры материи на качественно иных носителях или в нашем сознании есть информация для нас. Между этими информацией нет никакого качественного различия, но есть различие количественное, ибо информация в себе J_c в общем случае больше информации для нас J_n :

$$J_n = R_k(J_c) \quad J_c = R_k(M) \quad M \quad (3.1)$$

или в линейном приближении

$$J_n = R_k J_c = R_k M, \quad (3.1a)$$

где M — измеряемое материальное свойство (масса, цвет, заряд и т.п.), создающее J_c ; J_n — чувственная информация (информация для нас) или информация восприятия, которую в дальнейшем для краткости будем использовать без индекса; R_k — относительная информационная проницаемость среды.

Соотношение (3.1) реализует первый из постулатов — об адекватности отражения материи, закон чувственного отражения, в соответствии с которым информация есть функция материи, которая, по меньшей мере, для ограниченных приращений носит характер пропорциональной зависимости.

Поскольку чувственное отражение протекает во времени и в пространстве, то информация J представляет собой сумму потоков информации от отдельных частей материального объекта или от совокупности материальных объектов, формирующих информационное поле вокруг воспринимающего его измерителя.

В формализованном представлении это поле можно отобразить следующим образом. Если говорить об отражении материального объекта или поля некоей произвольной замкнутой вокруг него поверхностью, то полная информация составит из суммы потоков информации, приходящихся на единицу dS площади этой поверхности, т.е. из $O = dJ/dS$.

В таком случае должна иметь место теорема Гаусса, являющаяся математическим выражением философского положения о познаваемости мира:

$$M = \oint_S O dS \text{ или } J_c = \oint_S O dS, \quad (3.2)$$

где O — вектор интенсивности потока существования (отражения); интеграл берется по замкнутой поверхности S , охватывающей изучаемое явление или объект.

Соотношение (3.2) означает, что всякая информация в себе создает поле существования, суммарный поток которого адекватен этой информации, т.е. материи, служащей источником поля. Иными словами, из теоремы Гаусса в форме (3.2) следует, что источник поля информации J принципиально полностью идентифицируем по реакции тех или иных пробных материальных объектов на создаваемое им поле существования без непосредственного контакта с самим источником.

С учетом (3.1) теорему Гаусса можно представить в форме

$$J_n = \oint_S R_k O dS = \oint_S O_n dS, \quad (3.3)$$

где $O_n = R_k O$ — вектор интенсивности отражения.

В отличие от (3.2), обозначающего объективно реальные процессы, независимые ни от нас, ни от окружающей среды, соотношение (3.3) описывает процесс чувственного отражения, хоть и столь же реальный, но зависящий как от проницаемости среды, так и от состояния наших органов чувств, включая их приборные технические дополнения.

Если распределение материальных свойств сферически симметрично, то на любой сферической поверхности, охватывающей M , $O = \text{const}$ и из (3.2) следует

$$M = O \int_S dS = OS = 4\pi r^2 O, \quad (3.4)$$

$$\text{т.е. } O = M/4\pi r^2, \quad (3.5)$$

где r — расстояние от центра симметрии до данной точки пространства.

Это значит, что плотность O информации, которую можно собрать об объекте в той или иной точке пространства, обратно пропорциональна квадрату расстояния от этой точки до объекта.

Поскольку в статике материальные свойства чувственно адекватно отражаются окружающей средой, должно иметь место и *логическое отражение*, аналогичное *чувственному*, а соответственно, и *логическая информация*.

Логическая информация (сущность) N в отличие от J , всегда относящейся к конкретным объектам, или свойствам, характеризует целый класс однородных в определенном отношении объектов или свойств, являясь семантическим синтезом законов логики, правил функционирования системы и ее элементов, образующих функционал ее существования.

Разумеется, говоря о логике материального объекта, мы имеем в виду объективную логику природы, логику причинно-следственных связей источника и приемника информации.

Тогда закон *логического отражения*, олицетворяющий адекватность отражения в отсутствие априорного знания, можно записать следующим образом:

$$E = OR(O) \quad (3.6)$$

или в линейном приближении

$$E = RO; \quad (3.7)$$

$$R = R_k R_o; \quad (3.8)$$

$$E = L / M, \quad (3.9)$$

где E — вектор интенсивности логики (напряженности поля логики); L — вектор логики; R_o — безразмерная константа, характеризующая логичес-

кую реакцию (поведение) отражающего объекта на поток \mathbf{O} чувственной информации об отражаемом объекте.

В общем случае R_o зависит от \mathbf{O} , но всегда

$$\mathbf{E} = -\text{grad } H; \quad H = \int_r \mathbf{E} dr, \quad (3.10)$$

где H — потенциал поля (сущность воспринимаемой информации); r — расстояние от объекта до изучаемой точки пространства в сферических координатах.

Закон логического отражения — это *вторая аксиома* излагаемой теории универсального моделирования (*отражения*).

Из (3.7) следует, что хотя материальные объекты различной природы в принципе получают одинаковый поток информации об отражаемом материальном свойстве, но их реакция на этот поток различна в зависимости от величины R_o , характеризующей природу соответствующего объекта. При прочих равных условиях различные объекты по-разному реагируют на один и тот же поток отражения.

Любое распределение информации на фоне наложенных на нее логических связей должно обладать определенным содержанием. При анализе тех или иных ситуаций мы нередко говорим о том, что они имеют больший или меньший *смысл* с точки зрения определенных целей. Тем самым мы признаем измеримость содержания, смысла ситуации, хотя и не имели до сих пор способа для соответствующих измерений. Концепция информационного поля позволяет найти количественную оценку *содержания, смысла* на основе прослеживания путей реализации логических связей. При этом «содержание» выступает как «смысл» взаимодействия неживых объектов в соответствии с «целями» законов природы.

Информационная сложность или содержание (смысл) C определяется пересечением (логическим произведением, а в частных случаях — декартовым произведением) J и H

$$C = J \cap H \text{ или } C = J \cdot H. \quad (3.11)$$

В зависимости от того, применительно к характеристике всей системы или ее элементов используется C , можно говорить о *системной* C_c , *собственной* C_o и *взаимной* C_b сложности; при этом

$$C_c = C_o + C_b. \quad (3.12)$$

Для конструктивного использования понятий чувственная и логическая информация вводятся соответствующие детерминированные и статистические меры.

Измерение информационной проницаемости R_k и плотности информации O не всегда возможно. Найдены способы измерения информации в физических полях, существуют попытки измерения биоинформации с помощью приборов на жидких кристаллах. Однако, когда речь идет о социально-экономической, научно-технической информации, то проблема измерения чувственной информации усложняется. Поэтому был разработан дискретный вариант теории и предложены детерминированные и вероятностные меры вводимых понятий, более удобные для практических приложений.

3.2. Дискретные информационные модели

Хотя системные исследования привлекали особое внимание специалистов различных областей знаний лишь во второй половине XX в., нельзя сказать, что системность была открыта в эти годы. Дело в том, что теория систем взялась изучать древнюю, как мир, проблему взаимодействия части и целого, диалектику этого взаимодействия, которую не обходила вниманием ни одна философская концепция.

**Система как дискретная
модель непрерывного бытия**

Это обстоятельство породило даже некоторую конкуренцию на ниве системологии между профессиональными философами и представителями специальных наук. Первые (по крайней мере, некоторые из них) были склонны отрицать системологию как самостоятельную науку, поскольку-де она занимается философской проблемой (философия во все времена играла роль науки наук, обеспечивая их интеграцию и сохранение целостности), либо отлучать ее от философии, поскольку системология прибегает к использованию математического аппарата, якобы чуждого философии. И напротив, некоторые системологи стали претендовать на то, что теория систем является неким философским откровением и даже способна заменить собой традиционные философские системы.

Признавая, что математизация придает системологии особый статус, нельзя игнорировать, во-первых, тот факт, что системология занимается не какой-то общенаучной, а философской проблемой, изучая структуру отражения материи в нашем сознании, и во-вторых, эта особенность, по-видимому, преходяща, поскольку раньше или позже и другие разделы философии будут вооружены математикой с целью придания им действенности и привязки к конкретной социальной практике.

Как следует из гл. 1, понятие системы применительно к нашим знаниям о мире в целом или об отдельных аспектах бытия подразумевает некую совокупность частей, элементов, дисциплин, наук, точек зрения и т.д., отражающих отдельные стороны бытия, но взаимосвязанных и взаимодействующих таким образом, что в результате они имитируют целостность, присущую объективной реальности, которую они отражают.

Таким образом, система — это категория отражения, форма представления материи доступными пониманию средствами. Что касается самой реальности, природы, то она континуальна, непрерывна и целостна, т.е. она не содержит каких-либо априорно заданных частей, которые мы выделяем в ней по собственному произволу для удобства изучения или представления, и которые никогда не встречаются в природе в отрыве друг от друга.

Пример

Так, разглядывая птицу в небе, мы произвольно сосредоточиваем на ней свое внимание, абстрагируясь от того обстоятельства, что птица невозможна вне воздушного пространства и составляет с ним неразрывное целое, а голова птицы, крылья, лапы, хвост не существуют сами по себе и даже границы перехода друг в друга установить невозможно. Да ведь птица и не «собирается» из этих частей, весь ее организм как был един в зародышевой яйцеклетке, так и остался един в своем развитии до взрослой особи. Однако особенности человеческой логики, которая не только дискретна, но часто бинарна, не позволяют понять континуальное целое, не разбив его на части и не установив те или иные логические (функциональные) отношения между ними, что и приводит к выделению тех или иных органов птицы и изучению их функций.

Особое место занимают материальные продукты человеческого труда — машины, приборы, технические комплексы, которые собираются из деталей, узлов и т.д., изготовленных отдельно и какое-то

время существующих вне связи друг с другом. Эти машины представляют собой системы деталей и узлов, поскольку являются продуктом нашего сознания и воплощают в себе способ нашего отражения возможностей объективной реальности в осуществлении тех или иных функций, т.е. воплощают нашу же дискретную логику.

Таким образом, материальные продукты сознательной человеческой деятельности, с одной стороны, — *системы*, если иметь в виду сознательно воплощенную в них логику функционирования, но, с другой стороны, они *континуальная целостность*, если рассматривать их онтологически вне связи с представлениями их создателей.

Итак, система — это способ воспроизведения и отражения континуальной целостности средствами нашего сознания, нашей логики. Другими словами, *система* — это дискретная модель непрерывного бытия.

Как и всякая модель, система может быть представлена:

- *физической* моделью, когда она *чувственно* (по данным наших органов чувств и измерительных средств) подобна моделируемому объекту;
- *логической* (в том числе математической) моделью, когда ее логика подобна логике моделируемого объекта;
- *имитационной (прагматической)* моделью, когда только ее целостное поведение (выход) аналогично моделируемому объекту.

Имитационные системы являются обычно частными моделями, не претендующими на адекватность исходному объекту во всех отношениях. Физические и логические модели, напротив, претендуют на адекватность отражения исходного объекта как в целом, так и в деталях, и даже приписывают свою системную структуру моделируемому объекту, что является распространенным заблуждением.

В то же время необходимо еще раз подчеркнуть, что если мы выделяем в организме те или иные органы, то только ради удобства изучения соответствующих функций, заведомо упрощая истинное положение дел. И, строго говоря, любая модель является имитационной, поскольку принципиально отражает не абсолютно все элементы объекта, представляемого в виде системы, а лишь те, которые помогут понять изучаемые особенности, в противном случае модель стала бы необозримой по размерности.

Иными словами, система — это еще и диалектический синтез взаимно исключаящих друг друга требований точности и обзори-

мости, а задачей прикладной системологии и системного анализа является выработка средств достижения компромисса между «проклятием размерности» и высокой точностью системного моделирования актуальных задач практической деятельности человека.

С учетом вышесказанного изложим основные понятия информационного подхода применительно к системам с дискретно выделяемыми элементами, которые выводятся из символического представления законов диалектики и диалектической логики.

Основные понятия дискретных информационных моделей

Как было сказано выше, для отображения всех способов получения информации принят обобщающий термин «*отражение*», а для обозначения всех первичных источников информации, принят обобщающий термин «*объективная реальность*». Вместо перечисления всевозможных источников информации и способов ее добывания из них можно просто говорить об *отражении объективной реальности в нашем сознании*, которое всегда происходит с помощью наших органов чувств, т.е. зрения, слуха, обоняния, осязания, вкуса (или технических дополнений — измерительных приборов, увеличивающих разрешающую способность органов чувств и доступных источников информации).

Согласно формуле познания: «От живого созерцания к абстрактному мышлению, и от него — к практике»¹ — можно выделить три этапа отражения действительности: два пассивных — *чувственное* и *логическое* отражения, и один активный — этап *прагматического* отражения.

Этап живого созерцания (чувственного отражения) начинается с выделения объекта нашего интереса М (рис. 3.1).

На рис. 3.1 обозначено: I — блок измерений; II — коррелятор; III — сумматор; IV — мультипликатор ($C = J \times H$).

Посредством измерительных приборов I идет процесс расчленения М на элементарные свойства M_{kk} и их измерение с получением чувственной информации J_{kk} .

Далее идет процесс логического синтеза вектора восприятия J в подходящей к случаю системе координат путем формирования взаимных и системных информаций о материальных свойствах объекта в блоке II.

¹ Ленин, В. И. Философские тетради / В. И. Ленин. — Полн. собр. соч. — Т. 29. — С. 153.

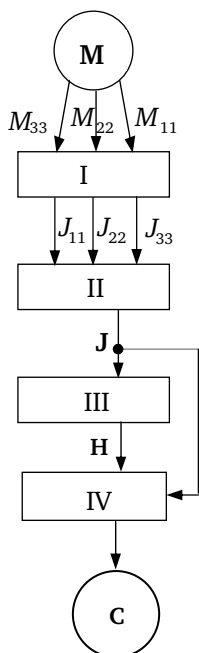


Рис. 3.1

Системно-структурные представления **J** об объекте наше сознание переносит на сам объект **М**. Этим и завершается этап чувственного восприятия, когда реальный материальный объект воспроизводится в нашей психике как идеальный объект **J** (восприятие).

Обратим внимание, что по описанию восприятие и представление ничем не отличаются друг от друга, но по содержанию им можно приписать различие, состоящее в том, что восприятие подразумевает сиюминутное отражение одновременно с ним существующего объекта, а представление может воспроизводиться по памяти даже в отсутствие объекта или даже отражать фантастические образы, которые, однако, строятся по общим с восприятием правилам.

Судя по рис. 3.1, чувственное отражение требует наличия двух образований: измерительного блока **I** (блока органов чувств) и коррелятора **II** (синтезатора), хотя и одновременных, но разрозненных ощущений. Первый, по всей видимости, присущ всей природе как живой, так и неживой. Второй же, вероятно, свойствен только всей живой природе, способной воспринимать как целое те или иные объекты.

Соответственно продуктами этих этапов являются *чувственная, логическая и прагматическая* информация и информационная сложность.

Чувственная информация J вводится как мера отраженной в нашем сознании объективной реальности, элементной базы системы в форме

$$J = A/\Delta A, \quad (3.13)$$

где A — общее количество каких-либо знаков, воспринимаемых измерительными приборами или нашими органами чувств; ΔA — «квант», с точностью до которого нас интересует воспринимаемая информация или разрешающая способность прибора.

Здесь необходимо пояснить принципиальное различие между A и J . Если A всегда принято выражать числом, которое является классическим математическим объектом и в силу этого удовлетворяет закону тождества $A \equiv A$, то об информации этого сказать нельзя.

Действительно, во-первых, J существенно зависит от разрешающей способности выбранного измерительного прибора и определяется значимостью для нас измеряемой величины, т.е. целью измерений (хотя измеряемая величина от цели измерений не зависит). Так, наличие или отсутствие личного автомобиля у конкретного гражданина фиксируется с точностью до $\Delta A = 1$ автомобиль, поскольку это обстоятельство для автолюбителя является весьма существенным. Напротив, сводные данные по производству автомобилей в стране приводятся с точностью до $\Delta A = 10\,000$ автомобилей, поскольку меньшее их число для страны в целом несущественно. Следовательно, если в большой стране производится пять автомобилей в год, то информация о том, что пятеро ее граждан ежегодно становятся автомобилистами, составляет 5 бит, в то время как государственная статистика скорее всего констатирует, что автомобильная промышленность в стране отсутствует.

Таким образом, в прагматическом аспекте информация всегда несет в себе весьма значительный элемент субъективности и различна для разных людей при одном и том же A . Во-вторых, даже при фиксированном ΔA информация, строго говоря, не является числом, поскольку в пределах более или менее ограниченных ΔA она может иметь любое значение.

Пример

Так, если вольтметр с разрешающей способностью в 1 В показывает 200 В, то истинное значение напряжения скорее всего лежит либо в диапазоне от 200 до 201 В, либо в диапазоне от 199 до 200 В; причем в общем случае оба диапазона равновероятны, так что можно ввести логарифмическую меру единицы информации $\Delta J = -\log p = \log 0,5 = 1$ бит, где p — вероятность наличия или отсутствия минимального значения информации; \log — здесь и далее логарифм по основанию 2. Таким образом, с учетом соотношения (3.13) показания вольтметра дают нам $J = 200 + 1$ бит информации, откуда следует, что информация не число, а величина, «размытая» в пределах 1 бита. Это значит, что в семантическом аспекте информация всегда есть J . Однако и в том же отношении она не есть J , т.е. не удовлетворяет логическому закону тождества и несет в себе, хотя и объективную, но относительную истину, в то время как число всегда несет в себе абсолютную истину. Так, показания вольтметра есть 200 В, когда стрелка остановилась на этом делении шкалы, но в то же время не 200 В, так как показания прибора всегда приближенны.

С другой стороны, два или несколько одинаковых измерительных приборов при измерении одной и той же величины в рамках их разрешающей способности могут дать различную информацию, но с одинаковой достоверностью. Это значит, что информация не удовлетворяет логическому закону исключенного третьего, не допускающему существование нескольких противоречивых, но одинаково истинных величин, но зато удовлетворяет диалектическому закону единства и борьбы противоположностей.

Итак, информация — это понятие, не поддающееся анализу средствами формальной логики и требующее применения к нему диалектической логики, которая обеспечивает возможность анализа не только абсолютно, но и относительно истинных высказываний. С этой точки зрения J аналогична высказываниям естественного языка, которые всегда носят «размытый» и относительно истинный характер. Однако ввиду дуальной природы J (число и не число) информация в отличие от вербальных форм поддается некоторым (не всем) математическим операциям.

Здесь полезно уточнить, что наши идеальные образы могут быть, конечно, отражены в неживой материи (скульптура, живопись, фотография), однако сама материя не может их синтезировать самостоятельно.

Логическая информация (сущность) H в отличие от J , всегда относящейся к конкретным объектам или свойствам, характеризует целый класс однородных в определенном отношении объектов или свойств, являясь семантическим синтезом законов логики, правил функционирования системы и ее элементов, образующих функционал ее существования.

Согласно основному закону классической логики Аристотеля *собственная сущность (суть)* системы обратно пропорциональна объему понятия n о ней¹, т.е.

$$H = J/n. \quad (3.14)$$

Объем понятия зависит от аспекта рассмотрения системы (элемента) и обычно предполагает родовую их принадлежность.

Например, объемом понятия «производственное предприятие» является общее количество вообще всех производственных предприятий в городе (области, стране), а объем понятия «это производственное предприятие» равен единице.

Если речь идет о собственной сущности 100 рабочих предприятия, где трудится 3000 рабочих, то согласно соотношению (3.14) $J = \sum_{k=1}^n J_k$, где J_k — информация о каждом рабочем; $n = 3000$, $H = J_{\text{ср}}$, где $J_{\text{ср}}$ — информация о среднем рабочем.

Если система характеризуется множеством своих состояний, подобно рабочей неделе, которая состоит из понедельника, вторника, среды и т.д., то это множество и составляет объем понятия «неделя», который равен $n = 7$, а сущность трех дней недели $H = 3/7$.

Отметим, что как вербальная форма основного закона логики, так и символическая форма (3.14), являются «размытыми», поскольку под обратной зависимостью подразумеваются различные конкретные формы, а соотношение (3.14), хотя и имеет форму обратной пропорциональности, но в силу «размытости» J также означает определенный диапазон конкретных зависимостей. Вообще же количественные значения H и J в статике совпадают (так как $n = 1$), однако в отличие от J сущность понятия H не может быть объектом непосредственно чувственного воспри-

¹ Способ опосредования (усреднения) J может быть и иным (см. табл. 5.1).

ятия, а является результатом логического осмысления, что отражается в трактовке n .

В частности, n можно рассматривать и как объем (емкость) памяти, занятой сведениями об отражаемом понятии, поскольку понятие формируется на основе сведений, содержащихся в нашей памяти (или в памяти ЭВМ).

Обратим также внимание на тот факт, что рассматриваемый закон в основе своей непрерывен (в силу обратной пропорциональности n) и его действие должно распространяться на непрерывную (многозначную) логику.

Далее, конструируя сущность понятия H , учтем в его символическом представлении последовательно требования, предъявляемые законами диалектики применительно к суждению.

Первым в числе этих законов применим закон всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости явлений.

Закон всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости явлений. Чтобы учесть требования этого закона, следует дополнить соотношение (3.14) составляющими, отражающими взаимодействие исходного понятия с другими понятиями, входящими в систему, введя соответствующие обозначения для того, чтобы отличить эти составляющие друг от друга. Тогда

$$H_{ni} = f(J_i/n_{ii}, J_1/n_{i1}, J_2/n_{i2}, \dots, J_j/n_{ij}, \dots), \quad (3.14a)$$

где H_{ni} — системная суть понятия; первый индекс при символах означает номер понятия, учитываемого при отображении системы, а второй — номер понятия, с которым взаимодействует данное, так что n_{ii} означает собственный объем i -го понятия, а n_{ij} — взаимный объем i -го и j -го понятий.

Полученное соотношение (3.14a) соответствует обычному правилу формальной логики, согласно которому в любом определении H_{n1} должны присутствовать, во-первых, его родовая принадлежность J_1 , а во-вторых, видовые отличия J_2, J_3 и т.д.

Следующим учтем требование, вытекающее из закона *изменчивости* («все течет, все изменяется»). Поскольку, как показано выше, информация отражает относительную истину, она может изменяться в процессе познания и практики. Чтобы описать процесс становле-

ния понятия, введем символ (оператор) d/dt , где числитель означает частичное изменение, а знаменатель указывает, что это изменение происходит во времени, так что, например, dJ/dt означает изменение информации во времени. При этом накопление или убывание информации можно отразить знаками «+» и «-» соответственно.

Отметим, что поскольку всякое изменение отрицает стабильность, т.е. ранее существовавшее неизменное состояние объекта, то закон *изменчивости* с равным основанием мог бы быть назван *законом отрицания*; причем символ d/dt есть синоним частичного отрицания и соответствует словесному «в какой-то мере не»).

С учетом рассматриваемого закона сущность H_t процесса изменения (эволюции) понятия должна быть обратно пропорциональна уже не объему понятия n , а изменению этого объема понятия $dn/dt = 1/\tau$, так что

$$H_t = \tau dJ/dt. \quad (3.15)$$

В дальнейшем τ именуется информационным сопротивлением и характеризует как бы задержку при восприятии новой информации в процессе становления и эволюции понятия.

Здесь также можно учесть закон всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости и преобразовать соотношение (3.15) к виду

$$H_{ti} = f(\tau_{ii} dJ_i/dt, \tau_{i1} dJ_1/dt, \tau_{i2} dJ_2/dt, \dots, \tau_{ij} dJ_j/dt, \dots), \quad (3.15a)$$

где H_{ti} — системная суть эволюции i -го понятия; τ_{ii} — собственное информационное сопротивление i -го понятия; τ_{ij} — взаимное информационное сопротивление i -го и j -го понятий.

Перейдем теперь к требованиям, вытекающим из закона *отрицания отрицания*. Поскольку уже отмечалось, что закон изменчивости является по своей сути законом отрицания, то закон отрицания отрицания следует трактовать как двукратное применение закона изменчивости, т.е. как применение закона изменчивости к самому закону изменчивости. С формально-символической точки зрения это означает применение оператора d/dt к самому оператору d/dt , т.е. $d(d/dt)/dt$ или d^2/dt^2 , так что, например, d^2J/dt^2 означает изменение эволюции информации во времени.

Сущность H_L изменения эволюции понятия должна быть в этом случае обратно пропорциональна изменению эволюции объема понятия $d^2n/dt^2 = 1/L$, так что

$$H_L = L d^2J/dt^2, \quad (3.16)$$

где L будем именовать ригидностью (негибкостью) понятия, сопротивляемостью изменению.

С учетом закона всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости явлений соотношение (3.16) следует переписать в форме, аналогичной соотношениям (3.14а) и (3.15а), т.е.

$$H_{L_i} = f(L_{ii} d^2J_i/dt^2, L_{i1} d^2J_1/dt^2, L_{i2} d^2J_2/dt^2, \dots, L_{ij} d^2J_j/dt^2, \dots), \quad (3.16a)$$

где H_{L_i} — системная суть изменения эволюции понятия; L_{ii} — собственная ригидность понятия; L_{ij} — взаимная ригидность i -го и j -го понятий.

Закон отрицания мог бы быть применен еще раз, т.е. к закону отрицания отрицания, что привело бы к закону отрицания отрицания отрицания, символически отображаемому d^3J/dt^3 . Можно было бы говорить и о дальнейшем применении закона отрицания. Однако, по-видимому, диалектика не напрасно не содержит законов тройного и более отрицаний, поскольку это было бы слишком громоздко и обременительно для мышления. Наше мышление действует экономно и все явления, выходящие за рамки закона отрицания, разбивает на транзитивные формы $H_{L_1} = L_1 d^2J/dt^2$, $H_{L_2} = L_2 d^2J/dt^2$ и т.д., которые в совокупности передают сколь угодно сложные процессы.

Следующий закон диалектики, требования которого нужно учесть, — это закон единства противоположностей.

Закон единства противоположностей. Противоположностями в нашем случае являются момент относительной стабильности понятия (3.14а) — тезис; момент относительной изменчивости (3.15а) — антитезис, опосредованные отрицанием отрицания (3.16а), которые в соответствии с применяемым законом следует рассматривать в неразрывном единстве

$$H = H_n \cup H_\tau \cup H_L, \quad (3.17)$$

а в частном случае, если возможна линейная аппроксимация, выражение (3.17) принимает вид

$$H = H_n + H_\tau + H_L. \quad (3.18)$$

В более общем случае с учетом закона всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости H_n , H_τ и H_L определяются согласно соотношениям (3.14а), (3.15а) и (3.16а), и тогда

$$\begin{aligned} H_i &= f(J_i/n_{ii}, \tau_{ii} dJ_i/dt, L_{ii} d^2J_i/dt^2; \\ J_1/n_{i1}, \tau_{i1} dJ_1/dt, L_{i1} d^2J_1/dt^2; \\ J_2/n_{i2}, \tau_{i2} dJ_2/dt, L_{i2} d^2J_2/dt^2, \dots; \\ J_j/n_{ij}, \tau_{ij} dJ_j/dt, L_{ij} d^2J_j/dt^2, \dots). \end{aligned} \quad (3.18a)$$

Это значит, что истинная суть H объективной реальности складывается в каждый момент времени из сформировавшегося к этому моменту содержимого памяти H_n (отраженной сути), из той логической информации H_τ , которая пребывает в процессе передачи от органов чувств к памяти, и из той логической информации H_L , усвоению которой препятствуют привычки и предрассудки. Понятно, что две последние составляющие преходящи, поэтому в конце концов они исчезают (при $\tau = \infty$), оставляя в памяти адекватное логическое отражение объективной реальности $H = H_n$.

Но при всей универсальности формы (3.18) она не конструктивна, поскольку не указан способ ее построения из имеющихся информаций. Однако «размытость» (3.18), символизирующая не функцию, а «размытую» область, в которую укладываются многие функции, позволяет аппроксимировать ее участками «размытых» линейных зависимостей в форме

$$\begin{aligned} H &= J_1/n_1 + \tau_1 dJ_1/dt + L_1 d^2J_1/dt^2 + J_2/n_2 + \tau_2 dJ_2/dt + \\ &+ L_2 d^2J_2/dt^2 + \dots + J_i/n_i + \tau_i dJ_i/dt + L_i d^2J_i/dt^2 + \dots \end{aligned} \quad (3.19)$$

Соотношение (3.19), хотя столь же «размыто», как и выражение (3.18), имеет стандартную для всех приложений форму, все компоненты которой могут быть рассчитаны с учетом реальных условий, определяющих константы n_i , τ_i и L_i .

С учетом закона всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости получим систему соотношений

$$\begin{aligned} H_1 &= f(J_1/n_{11}, \tau_{11} dJ_1/dt, L_{11} d^2J_1/dt^2, J_2/n_{12}, \tau_{12} dJ_2/dt, L_{12} d^2J_2/dt^2, \dots); \\ H_2 &= f(J_1/n_{21}, \tau_{21} dJ_1/dt, L_{21} d^2J_1/dt^2, J_2/n_{22}, \tau_{22} dJ_2/dt, L_{22} d^2J_2/dt^2, \dots); \\ &\dots \\ H_i &= f(J_i/n_{ii}, \tau_{ii} dJ_i/dt, L_{ii} d^2J_i/dt^2, J_j/n_{ij}, \tau_{ij} dJ_j/dt, L_{ij} d^2J_j/dt^2, \dots); \quad (3.20) \\ &\dots \\ H_m &= f(J_1/n_{m1}, \tau_{m1} dJ_1/dt, L_{m1} d^2J_1/dt^2, J_2/n_{m2}, \tau_{m2} dJ_2/dt, L_{m2} d^2J_2/dt^2; \\ &\dots, J_m/n_{mm}, \tau_{mm} dJ_m/dt, L_{mm} d^2J_m/dt^2, \dots) \end{aligned}$$

или в случае линейной аппроксимации и некоторых перестановок составляющих, что удобнее для ряда приложений, получим

$$\begin{aligned} H_1 &= J_1/n_{11} + J_2/n_{12} + \dots + \tau_{11} dJ_1/dt + \tau_{12} dJ_2/dt + L_{11} d^2J_1/dt^2 + L_{12} d^2J_2/dt^2 + \dots; \\ H_2 &= J_1/n_{21} + J_2/n_{22} + \dots + \tau_{21} dJ_1/dt + \tau_{22} dJ_2/dt + L_{21} d^2J_1/dt^2 + L_{22} d^2J_2/dt^2 + \dots; \\ &\dots \\ H_i &= J_i/n_{ii} + J_j/n_{ij} + \dots + \tau_{ii} dJ_i/dt + \tau_{ij} dJ_j/dt + L_{ii} d^2J_i/dt^2 + L_{ij} d^2J_j/dt^2 + \dots; \\ &\dots \\ H_m &= J_1/n_{m1} + J_2/n_{m2} + \dots + J_m/n_{mm} + \tau_{m1} dJ_1/dt + \tau_{m2} dJ_2/dt + \dots + \\ &\quad + \tau_{mm} dJ_m/dt + L_{m1} d^2J_1/dt^2 + L_{m2} d^2J_2/dt^2 + \dots + L_{mm} d^2J_m/dt^2. \end{aligned} \quad (3.21)$$

Системы (3.20), (3.21), «размытые» относительно истинных (диалектических) суждений, позволяют сделать символическое

«размытое» умозаключение путем решения этой системы по правилам, отличающимся от математических в той мере, в какой диалектическая логика отличается от классической, т.е. в меру влияния законов тождества и исключенного третьего. Отсутствие этих законов классической логики, т.е. фактическая замена их законом единства противоположностей, приводит к тому, что, с одной стороны, в отличие от математики суждения типа (3.19) всегда совместны, поскольку, «размывая» область их существования, всегда можно их частично совместить. С другой стороны, линейные комбинации этих суждений не являются тавтологиями, ибо в силу размытости не вполне сводятся друг к другу.

В частных случаях (что определяется на этапе обоснования модели конкретной проблемной ситуации) соотношение (3.19) может рассматриваться как обычное дифференциальное уравнение. Система уравнений (3.21) может решаться в соответствии с принятой в математике процедурой преобразования и решения дифференциальных уравнений, учитывающей логический **закон достаточного основания** (в соответствии с которым число суждений должно быть не меньше числа объектов, о которых должно быть получено умозаключение), логические **законы противоречия** (требующий непротиворечивости, совместимости суждений) и **тождества** (требующий изображать синонимы одним и тем же символом).

Названные логические законы полезно учитывать и в более общих ситуациях применения соотношений (3.21). При этом следует иметь в виду, что отмеченные отличия диалектической логики от классической являются глубоко принципиальными и приводят к неоднозначности, множественности умозаключений на основе одной и той же системы суждений. Это позволяет, в частности, поставить вопрос о выборе среди них наилучшего управленческого или проектного решения, т.е. сформулировать задачу оптимизации, которая в этой постановке сводится к поиску такого решения системы соотношений типа (3.21), в котором выбранная в качестве критерия оптимальности некая комбинация из ΔA_i была бы минимальной. Это означает, по существу, поиск наименее размытого решения системы из всех возможных.

Наконец, рассмотрим последний закон диалектики, подлежащий учету, — закон перехода количественных изменений в коренные качественные.

Закон перехода количественных изменений в коренные качественные. Он требует понимания того, что характеристические константы n , τ и L являются константами лишь в ограниченном диапазоне эволюционных изменений понятия. В общем же случае, т.е. при больших изменениях, эти константы могут не сохранять своих значений, что приведет к радикальному (революционному) изменению сути понятия, нарушив плавный эволюционный ход развития. С формальной точки зрения это означает, что в общем случае n , τ и L являются функциями H , J , dJ/dt , d^2J/dt^2 .

Отметим, что хотя параметры n , τ и L названы выше емкостью (объемом памяти), информационным сопротивлением и ригидностью понятия, соответственно, но поскольку последнее формируется в сознании одного человека (или в перспективе — в памяти конкретной системы восприятия и хранения информации с использованием ЭВМ), то эти параметры, по существу, характеризуют память, пропускную способность и ригидность психики конкретного человека (или автоматизированной информационной системы) и могут быть измерены экспериментально, что следует периодически повторять с учетом последнего из рассмотренных законов.

Если периодически уточнять n , τ и L , то выражение (3.19) будет сохранять неограниченную универсальность при описании любых явлений; причем, описывая сложное явление поэлементно, оно сохраняет целостность, присущую соотношению (3.18).

Логическую информацию H можно определить не только через параметры синтезирующей ее системы (человека, автоматизированной информационной системы). Если учесть, что, как было отмечено ранее, H характеризует не единичный объект, а класс однородных в определенном смысле объектов или свойств, то H можно определить через плотность вероятности $f(J_i)$ того, что J имеет значение J_i

$$H = \int f(J_i) dJ_i. \quad (3.22)$$

В частном случае вместо плотности вероятности можно охарактеризовать класс однородных объектов просто вероятностью q_i и представить J_i в логарифмической форме; тогда получим

$$H = - \sum_{i=1}^n q_i \log p_i. \quad (3.22a)$$

Значения q_i и p_i могут быть не равны, но возможны ситуации, когда $q_i = p_i$, что имеет место в формуле Шеннона

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i. \quad (3.22б)$$

Прагматическая (целевая) информация $H_{ц}$ описывается моделью, аналогичной (3.18), только под J понимается информация о средствах достижения цели, а под n — количество бит информации о средствах на бит информации о цели (результате).

Прагматическая информация $H_{ц}$ так же, как и рассмотренная выше семантическая H , может иметь и статистическую трактовку, т.е. $H_{ц}$ может определяться аналогично (3.22а), только в этом случае для практических приложений часто удобнее заменить вероятность недостижения цели p_i на сопряженную $(1 - p_i')$:

$$H_{ц} = - \sum_{i=1}^n q_i \log(1 - p_i'), \quad (3.23)$$

где p_i' — вероятность достижения цели; q_i — вероятность того, что оцениваемая компонента будет использована для достижения цели.

Таким образом, из сказанного выше следует, что J и H могут измеряться различными способами — детерминированно и с помощью вероятностных характеристик.

При детерминированном измерении можно принять различную форму усреднения (опосредования), для чего вводится параметр γ , который может выбирать постановщик задачи. Тогда

$$H = \gamma \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i^\gamma}, \quad (3.24)$$

где J_i — результаты измерения A_i согласно (3.13); n — объем понятия, т.е. число охватываемых понятием объектов; γ — параметр логики усреднения, при различных значениях которого получают разные выражения для определения H , приведенные в табл. 3.1 (в таблице знак « \prod » — знак произведения).

Таблица 3.1

<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; text-align: center;"> Информация восприятия (чувственная информация) J (элементарная база) </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; text-align: center;"> C </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; text-align: center;"> H </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; text-align: center;"> Логическая информация (информационный потенциал) (сущность) </div> </div>			
<p>Детерминированный способ измерения</p>	<p>$J_i = A_i / \Delta A_i$, где A_i — значение измеряемой величины; ΔA_i — «квант», с точностью до которого ЛПР интересуется воспринимаемая информация (единица измерения, разрешающая способность прибора)</p>	<p>$H = \sqrt[n]{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i^\gamma}$, где J_i — результаты измерения A_i; n — объем понятия об охватываемых измерением объектах; γ — параметр усреднения</p>	<p>При $\gamma = 1$ получим среднее арифметическое</p> $H = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} J_i.$ <p>При $\gamma = 0$ получим среднее геометрическое</p> $H = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n J_i}.$ <p>При $\gamma = -1$ получим среднее гармоническое</p> $H = n / \sum_{i=1}^n \frac{1}{J_i}.$
<p>Вероятностный способ измерения</p>	<p>$J_i = -\log p_i$, где p_i — вероятность события.</p> <p>В случае использования информации для достижения цели p_i называют вероятностью недостижения цели или степенью нецелесоответствия</p>	<p>$H = \int f(J_i) dJ_i \Rightarrow$</p> $H = \sum_{i=1}^n q_i J_i = - \sum_{i=1}^n q_i \log p_i,$ <p>где q_i — вероятность использования элемента информации.</p> <p>При $q_i = p_i$</p> $H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i.$ <p>При равновероятном выборе элемента</p> $p_i = 1/n \quad \text{и} \quad H = - \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log \frac{1}{n} = \log n.$ <p>Для прагматической информации</p> $H_{\text{ц}} = - \sum_{i=1}^n q_i \log(1 - p_i'),$ <p>где p_i' — вероятность достижения цели, степень целесообразности</p>	

Поскольку в некоторых приложениях могут применяться одновременно обе формы представления информационных характеристик — и детерминированная, и вероятностная, а также — переход от одной формы к другой (см. примеры в гл. 6), то удобно пользоваться сопоставительной табл. 3.1, в которой приведены основные способы измерения J и H .

Следует оговорить особенности вероятностных характеристик, используемых в излагаемом подходе. В частном случае p_i может быть статистической вероятностью, определяемой на основе репрезентативной выборки, подчиняющейся той или иной статистической закономерности.

Однако в общем случае вероятность достижения цели p_i' и вероятность использования оцениваемой компоненты (свойства) при принятии решения q_i могут иметь более широкую трактовку и использоваться не в строгом смысле с точки зрения теории вероятностей, справедливой для стохастических, повторяющихся явлений, а характеризовать единичные явления, события, когда p_i выступает как *степень целесообразности*.

Добавим также, что по аналогии с предшествующими исследованиями *Р. Хартли, К. Шеннона, А. А. Харкевича* в качестве единицы измерения информации принята единица, основанная на двоичном логарифме, дающая в качестве минимальной единицы информации величину 1 бит.

Это удобно и по следующим соображениям. Для того чтобы (3.13) давало информацию в битах, необходимо понимать, что априорная принадлежность каждого деления шкалы измерительного прибора измеряемой величине составляет 0,5. Тогда, поскольку шкала представляет последовательное соединение делений, совместная вероятность того, что J из них принадлежат измеряемой величине с учетом (3.13) составляет $p = 2^{-J}$, откуда получается $J = -\log p$, которая вместе с тем является решением уравнения

$$\frac{dp}{dJ} \log e + p = 0. \quad (3.25)$$

В то же время в принципе могут быть приняты и иные меры сжатия информационной шкалы — восьмеричные логарифмы (байты, уже нашедшие применение для оценки объемов информации в вычислительной технике) или даже не применяющиеся пока десятичные логарифмы (единицу можно назвать, например, «дек»), натуральные логарифмы («непер») и т.п.

В зависимости от того, применительно к какой характеристике — всей системы или ее элементов — используется S , можно говорить о *системной, собственной и взаимной сложности*.

Слагаемые J_i/n_{ii} , $\tau_{ii} dJ_i/dt$, $L_{ii} d^2J_i/dt^2$ каждого уравнения в соотношении (3.21) описывают собственную суть H_o соответствующего элемента вне связи с остальными элементами системы, а остальные слагаемые описывают его взаимную суть H_v , т.е. суть взаимодействия данного элемента со всеми остальными, так что системная суть

$$H_c = H_o + H_v. \quad (3.26)$$

Сложность (содержание, смысл) C определяется пересечением (логическим произведением, а в частных случаях — декартовым произведением) J и H

$$C = J \cap H \text{ или } C = J \cdot H. \quad (3.27)$$

Соотношение (3.27) введено выше при изложении теории информационного поля, а для дискретного варианта может быть пояснено следующим образом: H характеризует содержание (суть) только единицы чувственной информации, а для того, чтобы охарактеризовать сложность всей информации, нужно, естественно, умножить H на количество чувственной информации J .

Для случая прагматической информации сложность C_{Π} (смысл информации для достижения поставленной цели) должна определяться с учетом прагматической чувственной информации, влияющей на достижение цели, и прагматической сути H_{Π} (3.23).

В физических системах C соответствует энергии. Для систем организационного управления интерпретация этого понятия зависит от конкретных условий его применения. В широком смысле C характеризует сложность разного рода.

Аналогично (3.26) получим соотношение, определяющее взаимосвязь системной C_c , собственной C_o и взаимной C_v сложности системы:

$$C_c = C_o + C_v. \quad (3.28)$$

Собственная сложность C_o представляет собой суммарную сложность (содержание) элементов системы вне связи их между собой (в случае прагматической информации — суммарную сложность

элементов, влияющих на достижение цели). *Системная сложность* C_c представляет содержание системы как целого (например, сложность ее использования). Наконец, *взаимная сложность* C_v характеризует степень взаимосвязи элементов в системе (т.е. сложность ее устройства, схемы, структуры).

Понятия системной C_c , собственной C_o и взаимной C_v сложности позволяют более глубоко осознать диалектику взаимодействия системы и ее частей. Учитывая важность этой проблемы, она вынесена в самостоятельный подраздел (см. более подробно ниже).

Для отображения сложных проблемных ситуаций могут быть получены соотношения, аналогичные (3.20) и (3.22), но учитывающие текущую J_i для каждого из соотношений, описывающих динамику становления понятий, включенных в описание проблемной ситуации,

$$\begin{aligned}
 C_1 &= f(J_1^2/n_{11}, \tau_{11} J_1' dJ_1/dt, L_{11} J_1'' d^2J_1/dt^2, \\
 &J_1 J_2/n_{12}, \tau_{12} J_1' dJ_2/dt, L_{12} J_1'' d^2J_2/dt^2, \dots); \\
 C_2 &= f(J_2 J_1/n_{21}, \tau_{21} J_2' dJ_1/dt, L_{21} J_2'' d^2J_1/dt^2, \\
 &J_2^2/n_{22}, \tau_{22} J_2' dJ_2/dt, L_{22} J_2'' d^2J_2/dt^2, \dots); \\
 &\dots \\
 C_i &= f(J_i^2/n_{ii}, \tau_{ii} J_i' dJ_i/dt, L_{ii} J_i'' d^2J_i/dt^2, \\
 &J_i J_j/n_{ij}, \tau_{ij} J_i' dJ_j/dt, L_{ij} J_i'' d^2J_j/dt^2, \dots); \\
 &\dots \\
 C_m &= f(J_1 J_m/n_{m1}, \tau_{m1} J_1' dJ_m/dt, L_{m1} J_1'' d^2J_m/dt^2, \\
 &J_2 J_m/n_{m2}, \tau_{m2} J_2' dJ_m/dt, L_{m2} J_2'' d^2J_m/dt^2, \dots, \\
 &J_m^2/n_{mm}, \tau_{mm} J_m' dJ_m/dt, L_{mm} J_m'' d^2J_m/dt^2, \dots)
 \end{aligned} \tag{3.29}$$

или в случае линейной аппроксимации и некоторых перестановок составляющих

$$\begin{aligned}
C_1 &= J_1^2/n_{11} + J_1 J_2/n_{12} + \dots + \tau_{11} J_1' dJ_1/dt + \tau_{12} J_1' dJ_2/dt + \\
&\quad + L_{11} J_1'' d^2 J_1/dt^2 + L_{12} J_1'' d^2 J_2/dt^2 + \dots; \\
C_2 &= J_2 J_1/n_{21} + J_2^2/n_{22} + \dots + \tau_{21} J_2' dJ_1/dt + \tau_{22} J_2' dJ_2/dt + \\
&\quad + L_{21} J_2'' d^2 J_1/dt^2 + L_{22} J_2'' d^2 J_2/dt^2 + \dots; \\
&\quad \dots \\
C_i &= J_i^2/n_{ij} + J_i J_j/n_{ij} + \dots + \tau_{ii} J_i' dJ_i/dt + \tau_{ij} J_i' dJ_j/dt + \\
&\quad + L_{ii} J_i'' d^2 J_i/dt^2 + L_{ij} J_i'' d^2 J_j/dt^2 + \dots; \\
&\quad \dots \\
C_m &= J_m J_1/n_{m1} + J_m J_2/n_{m2} + \dots + J_m^2/n_{mm} + \\
&\quad + \tau_{m1} J_m' dJ_1/dt + \tau_{m2} J_m' dJ_2/dt + \dots + \tau_{mm} J_m' dJ_m/dt + \\
&\quad + L_{m1} J_m'' d^2 J_1/dt^2 + L_{m2} J_m'' d^2 J_2/dt^2 + \dots + L_{mm} d^2 J_m/dt^2.
\end{aligned} \tag{3.30}$$

В соотношениях (3.29) и (3.30) J_i' и J_i'' отражают динамику изменения J_i при становлении понятий о материальных свойствах или объектах i -го вида.

Основные понятия подхода и меры чувственной и логической информации приведены на рис. 3.2.

Для характеристики полезной *производительности (информационной мощности)* N можно ввести выражение, аналогичное мощности энергетических систем

$$N = dC/dt = H dJ/dt. \tag{3.31}$$

Изложенное выше представляет удобную и универсальную основу для формализованной оценки ряда закономерностей систем, сравнительного анализа структур и других моделей сложных проблемных ситуаций.

Примеры применения информационного подхода для исследования процессов управления и проектирования приведены в последующих главах.

Закон чувственного отражения $J_i = R_k M$,
 где M — измеряемое материальное свойство (масса, цвет и т. п.), создающее J_c ; J_n — чувственная информация (информация для нас) или информация восприятия (элементарная база); R_k — относительная информационная проницаемость среды.

$$\text{В информационном поле } J_c = \iint_S \mathbf{O} d\mathbf{S}; J_n = \iint_S R_k \mathbf{O} d\mathbf{S} \text{ (теорема Гаусса),}$$

где \mathbf{O} — вектор интенсивности потока существования (отражения); интеграл берется по замкнутой поверхности S , охватывающей изучаемое явление или объект.

В дискретном варианте $J = A/\Delta A$ (детерминированная мера),
 где A — материальное свойство; ΔA — «квант», с точностью до которого нас интересует воспринимаемая информация, или разрешающая способность прибора;

$$J = -\log p_i \text{ (вероятностная логарифмическая мера),}$$

где p_i — вероятность события; в случае, когда J используется для достижения цели, p_i — вероятность недостижения цели, т.е. степень «целесоответствия».

Закон логического отражения:

- в информационном поле $\mathbf{E} = \mathbf{O}R(\mathbf{O})$;
- в линейном приближении $\mathbf{E} = R\mathbf{O}$, $R = R_k R_o$, $\mathbf{E} = \mathbf{L}/M$,

где \mathbf{E} — вектор интенсивности логики (напряженности поля логики); \mathbf{L} — вектор логики; R_o — безразмерная константа, характеризующая логическую реакцию (поведение) отражающего объекта на поток \mathbf{O} чувственной информации об отражаемом объекте.

$$\mathbf{E} = -\text{grad } H; H = \int_r \mathbf{E} dr,$$

где H — потенциал поля (сущность воспринимаемой информации); r — расстояние от объекта до изучаемой точки пространства в сферических координатах.

В общем случае R_o зависит от \mathbf{O} , где $\mathbf{O} = J/4\pi r^2$. Тогда

$$\mathbf{E} = \frac{RJ}{4\pi r^2}.$$

В случае двух точечных объектов в изотропной среде $\mathbf{L} = R \frac{J J_2}{4\pi r^2}$ (закон подобен законам Ньютона и Кулона в силовых полях).

$$\text{В дискретном варианте } H = \gamma \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i^2},$$

где J_i — результаты измерения A_i ; n — объем понятия, т.е. число охватываемых понятием объектов; γ — параметр логики усреднения, при различных значениях которого получаются различные выражения для определения H ; H — логическая информация (сущность, содержание понятия).

Или через плотность вероятности $f(J_i)$ того, что J имеет значение J_i

$$H = \int f(J_i) dJ_i; H = \sum_{i=1}^n q_i J_i = -\sum_{i=1}^n q_i \log p_i; H_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n q_i \log(1 - p'_i),$$

где p' — степень целесообразности; q_i — вероятность использования J .

Информационная сложность, или содержание (смысл), C :

$$C = J \cap H \text{ или } C = J \cdot H.$$

В системе существуют следующие виды сложности:

системная C_c , собственная C_o и взаимная C_b ; при этом $C_c = C_o + C_b$.

Рис. 3.2

Исследования закономерностей систем имеют принципиальное значение для развития теории систем, и поэтому рассмотрим применение изложенного подхода для исследования одной из наиболее принципиальных проблем этой теории — проблемы взаимодействия части и целого.

3.3. Диалектика части и целого

Исследование закономерностей целостности и иерархической упорядоченности. В гл. 1 были рассмотрены закономерности, характеризующие сложное взаимодействие системы и ее частей, — закономерность целостности (эмерджентности) и связанные с ней закономерности (аддитивности, прогрессирующей систематизации, прогрессирующей факторизации), закономерность иерархической упорядоченности, в которой закономерность целостности проявляется на каждом уровне иерархии.

Основная суть закономерности целостности качественно заключается в отличии свойств системы от свойств ее элементов, с одной стороны, и в изменении свойств элементов, включенных в систему, с другой. Попытаемся исследовать эту проблему, используя рассматриваемый информационный подход.

Прежде всего обратим внимание на зависимость представления об объекте от информации восприятия (3.13) и, в частности, от принимаемого при вычленении элементов «кванта» ΔA . Чем больше мы квантуем объективную непрерывную реальность, т.е., чем более мелкие элементы выделяем в системе, тем согласно (3.13) большую информацию мы о ней получаем.

По этой причине человечество все больше и больше дробит свою науку на узкоспециальные области знаний, увеличивая информацию до такой степени, что похоже уже не в силах переварить ее.

Однако увеличивает ли рост числа элементов точность системного моделирования бытия? С одной стороны, вроде бы увеличивает, поскольку воссоздает все более тонкую структуру. Но, с другой стороны, уместно вспомнить, что в исходном континуальном объекте все было связано со всем, стало быть, разделив ее на две части, мы должны учесть одну связь между ними, а разделив на

три части, учесть уже три связи и т.д. В общем случае представления системы из m_o элементов мы должны учесть число связей, равное числу сочетаний из m_o по 2, т.е. $m_b = 0,5 m_o(m_o - 1)$, причем это число растет гораздо быстрее, чем m_o .

Для учета этих связей, например, между науками, нам потребовалось бы огромное число «стыковочных» наук типа физической химии, биоэлектроники, электрогидравлики и т. д. Между тем, углубляя знания в пределах своей науки, специалисты мало склонны изучать взаимосвязи наук. Во всяком случае число реально развивающихся «стыковочных» наук гораздо меньше числа «основных» наук, хотя для полноты исследования в действительности должно быть наоборот. В результате теряется целостность знания о природе, и оно становится тем превратнее, чем больше создается узкоспециализированных наук.

Если оценить относительную точность системы знаний как отношение числа имеющихся наук к числу возможных наук, включая «стыковочные», то в идеале она должна бы составлять $\delta_o = 1$, а в действительности, поскольку «стыковочные» науки почти отсутствуют, то $\delta = m_o / (m_o + m_b) = 2 / (m_o + 1)$, т.е. значительно меньше единицы и продолжает убывать.

Конечно, часть межнаучных связей может оказаться не столь существенной и ею можно пренебречь, но все же остается еще очень много неведомого на стыке наук, а главное, некому выделить противоречия в данных отдельных наук, без чего невозможен синтез целостности.

По этой причине, достигнув изумительных результатов в узкоспециализированных областях природоведения, мы все еще мало знаем о природе как целом, а грандиозные свершения в сфере преобразования природы, которые строго соответствуют рекомендациям специальных наук, нередко приводят к неожиданным и даже опасным последствиям для природы в целом.

С этой точки зрения древние, не успев еще расчленить свои знания о природе на отдельные науки, чувствовали природу как целое, пожалуй, не хуже нас, а энциклопедисты и натурфилософы понимали необходимость целостного воссоединения всего знания в одном человеке или в одной науке. Этому учит и теория систем, первойшей заповедью которой является утверждение о том, что сумма свойств частей не есть свойство целого, т.е. что простая сумма знаний, добытых всеми науками о природе, не есть знание

о природе как целом. Таким обобщающим знанием должно быть мировоззрение, которое, хотя и формируется на базе специальных знаний, но не является простой их суммой, а представляет продукт сложного синтеза, диалектическое единство наук, где центральное место занимает философия — носительница целостного знания о мире. Однако для успешного выполнения этих своих функций в наше время ей необходимо сближение с натурфилософией в языке и символике.

Необходимо также отметить, что искусство всегда успешнее справлялось с передачей целостности природы, нежели наука. Деятели искусства прекрасно отдают себе отчет в том, что, помимо овладения соответствующей техникой, достаточной для ремесленника, художник должен иметь еще талант претворять систему технических приемов в целостное впечатление, которое одно только и является целью искусства.

Сказанное позволяет дополнительно обосновать необходимость включения в число характеристик системного анализа обязательной ориентации на мировоззренческие представления и использование при моделировании сложных развивающихся объектов не только методов формализованного представления систем, но и методов, позволяющих использовать интуицию и опыт специалистов, которые и являются носителями целостного восприятия, отражаемого в системе ценностных ориентаций и в системе предпочтений, если часть ценностных ориентаций удастся формализовать.

Далее, исследование соотношения (3.27), символически отображающего закономерность целостности, позволяет обратить внимание на тот факт, что суммарная собственная сложность элементов в устойчивых системах больше, чем системная, т.е. $C_o > C_c$. Большим, нежели C_c , может быть и C_b .

Пример

Сложность телевизора C_c для пользователя меньше сложности его конструкции C_b и суммарной сложности C_o (возможностей) элементов, из которых собран телевизор. Так что иногда бытующее выражение «целое больше своих частей» не следует понимать буквально. Количественно содержание целого может быть меньше, но качественно его свойства принципиально новы по сравнению со свойствами его элементов.

Ранее проводимые качественные исследования закономерности целостности (эмерджентности) всегда уделяли большое внимание изучению причин изменения свойств системы по сравнению со свойствами составляющих ее элементов. Соотношение (3.27) позволяет указать на взаимное содержание C_v как на непосредственный носитель целостности.

Системы можно сравнивать между собой по всем видам сложности. Можно говорить о различной сложности системы в целом. Можно сравнивать суммарные возможности элементов разных систем, сопоставлять как бы общую сложность конструкций, оценивая C_v .

Разумеется, эти оценки нужно рассматривать как относительные. Взятые сами по себе, они ни о чем не говорят. Иными словами, оценки C_c , C_o , C_v и другие информационные оценки применимы лишь для сравнительного анализа систем, их элементов, структур, конструкций и т.п.

Следует оговорить, что оценки C_c , C_o , C_v могут интерпретироваться по-разному, т.е. применяться для оценки как бы по различным критериям.

Пример

Показатель C_v можно рассматривать как сложность конструкции, схемы (для технических систем), сложность структуры (для организационных), а можно с помощью C_v оценивать степень взаимосвязанности элементов, которую для технических (а иногда и для организационных) систем можно интерпретировать как характеристику устойчивости системы, а для организационных — как меру целостности, т.е. как количественную оценку для сравнения степени проявления в системе закономерности целостности.

При различной сложности элементных баз сравнительный анализ с использованием оценок C_v может дать неверный результат, поскольку C_v простой схемы (структуры) с большим числом элементов может оказаться таким же, как у сложной схемы (структуры) с малым числом элементов, но с сильными и сложными связями между ними. Поэтому удобнее пользоваться относительными характеристиками, приведенными к единице сложности элементной базы.

Разделив члены выражения (3.27) на C_o получим две важные сопряженные оценки

$$\alpha = -C_b/C_o; \quad (3.32)$$

$$\beta = C_c/C_o, \quad (3.33)$$

причем $\beta = 1 - \alpha$.

Первая из них (3.32) характеризует степень целостности, связности, взаимозависимости элементов системы; для организационных систем α может быть интерпретирована как характеристика устойчивости, управляемости, степени централизации управления.

Вторая (3.33) — самостоятельность, автономность частей в целом, степень использования возможностей элементов. Для организационных систем β удобно называть коэффициентом использования элементов в системе.

Знак минус в выражении (3.32) введен для того, чтобы α было положительным, поскольку C_b в устойчивых системах, для которых характерно $C_o > C_c$, формально имеет отрицательный знак. Связанное (остающееся как бы внутри системы) содержание C_b характеризует работу системы на себя, а не на выполнение стоящей перед ней цели (чем и объясняется отрицательный знак C_b).

Последнее важно учитывать при формировании структур систем. Поэтому приведем упрощенный пример сравнительного анализа иерархических структур (рис. 3.3), которые могут отображать либо схемы коммутаций верхнего узла технической системы с элементами нижнего уровня, либо варианты организационной структуры системы управления, включающие разное число заместителей директора (второй сверху уровень иерархии) и подчиненных им управленческих подразделений.

Предположим, что целью всех этих структур является выбор из восьми элементов нижнего уровня структур. При наличии элемента, способного осуществлять выбор из восьми, задача решается с помощью этого элемента, приведенного на рис. 3.3, а.

Если же такого элемента не существует, то задачу можно решить с помощью элементов, обладающих меньшими способностями, —

ключей с переключениями для выбора из четырех или двух положений либо помощников, распределяющих между собой ответственность за выбор исполнителей решения (варианты структур приведены на рис. 3.3, б — д).

В изображении иерархических структур способ вычленения элементов не определен, и их «читать» можно неодинаково.

Пример

Так, элементами можно считать каждую ветвь иерархической структуры (каждое положение ключа или каждое структурное подразделение), полагая, что ветвь имеет два возможных состояния («участвует» — «не участвует» в принятии решения по выбору), т.е. $\Delta A = 1$ ветвь, а минимальная единица информации $J = 1$ бит. А можно разделить структуру на элементы с учетом того, что основной функциональный элемент, осуществляющий выбор, — узел, и тогда элементами будут наборы узлов, $\Delta A = 1$ узел (или ключ), а каждый элемент будет оцениваться минимальным значением $J = 1$ бит, но с разными «способностями», которые оцениваются числом ветвей, подчиненных узлу (или состояний ключа), отражаемых в оценке H . Тогда при равновероятном выборе для узлов с двумя состояниями $H = \log 2 = 1$ бит, для узлов с четырьмя состояниями $H = \log 4 = 2$ бита и т.д., а согласно (3.27) $C = J \cdot H$.

Если принято $\Delta A = 1$ узел, то при определении C_c для всех структур $J = 1$, поскольку в этом случае они воспринимаются как единое целое. А при определении C_o количество узлов в структуре умножается на характеристику их способностей H , и произведения $J \cdot H$ суммируются.

Сравнительные оценки вариантов структур, предназначенных для достижения одной и той же цели — выбор из восьми состояний нижнего уровня иерархии — приведены на рис. 3.3. При расчете C_c система рассматривается как один элемент, т.е. J_c принимается равной единице.

Сопоставляя структуры с использованием приведенных на рис. 3.3 оценок, можно сделать, например, следующие выводы. Если выбирается организационная структура предприятия, то оценку α можно трактовать как устойчивость системы, степень сохранения ее целостности, а оценку β — как коэффициент использования возможностей элементов, их свободу.

Иными словами, увеличение β можно трактовать как децентрализацию управления, а α — как степень централизации.

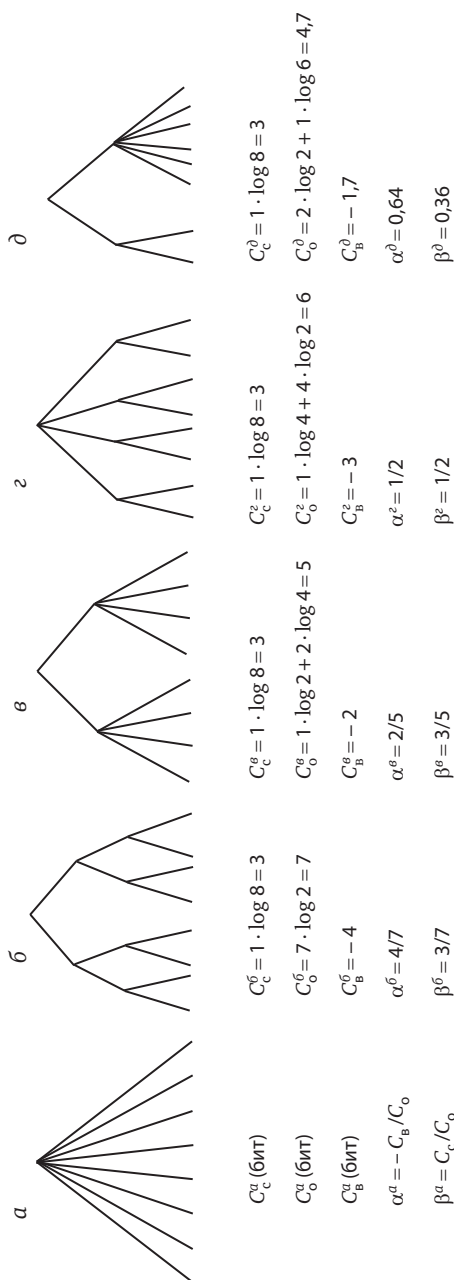


Рис. 3.3

Тогда при стремлении к демократизации, децентрализации управления, к более эффективному использованию возможностей сотрудников или структурных подразделений, предоставлению им большей самостоятельности следует выбрать структуру, приведенную на рис. 3.3, в. А при стремлении сохранить целостность предприятия, усилить централизованное управление следует отдать предпочтение структурам, приведенным на рис. 3.3, б, а из двухуровневых структур — на рис. 3.3, г.

Выбранный вариант структуры будет содействовать или, напротив, препятствовать проведению в жизнь принятых принципов управления, т.е. как бы ни стремился руководитель предоставить больше самостоятельности структурным подразделениям и сотрудникам, структуры рис. 3.3, б и г будут препятствовать проведению этой политики.

Исследование структур с различным числом уровней иерархии показало, что по мере увеличения числа уровней степень целостности существенно возрастает: в двухуровневых структурах α колеблется вокруг значения 0,5, а в структурах с числом уровней 5—6 и более α приближается к 0,9, т.е. существенно возрастает связанное, остающееся внутри системы C_v , характеризующее работу системы как бы на себя. Последнее важно учитывать при формировании структур систем.

Чем более сложной и многоуровневой становится организационная структура предприятия, тем в большей мере она будет работать «сама на себя». Аналогичная ситуация была замечена при создании банков данных: при стремлении к универсальности БД и усложнении его системно-логической структуры и СУБД типовые БД, создаваемые в АСУП для отображения информации о производственных системах (типа СИОД, БАНК и т.п.), становились неэффективными, в них требовалось все больше ресурсов для поддержания собственных СУБД, т.е. БД начал в большей мере работать «сам на себя».

Возрастает степень целостности α и при увеличении числа составляющих второго сверху уровня иерархической структуры.

Например, в организационных структурах при увеличении числа заместителей директора, что также подтверждается практикой.

Наименьшая централизация характерна для наиболее неравномерной структуры (рис. 3.3, д). Однако у подобных структур, когда

одной из вершин подчинено существенно большее число составляющих, чем другой, есть существенный недостаток: малая разница в оценках H , которые в данном случае удобно трактовать как потенциал, значимость, характеризующие влияние соответствующей вершины на принятие решений.

Пример

Так, в варианте структуры на рис. 3.3, ε крайне малое различие потенциалов системы в целом ($H_c = 3$ бита) и вершины, которой подчинено шесть составляющих ($H_2 = 2,7$ бита), приводит к тому, что помощник, возглавляющий последнюю вершину, начинает вести себя практически независимо от руководителя системы в целом. Этот недостаток довольно часто проявлялся на практике, но его пытались объяснить квалификацией и авторитетом соответствующих руководителей, в то время как информационный анализ структур показывает, что это — характеристика структуры, а не частного лица.

Обратим внимание на тот факт, что пример сравнительного анализа рассмотренных вариантов иерархического представления одной и той же системы (предназначенной для решения задачи выбора из восьми элементов нижнего уровня) иллюстрируют возможность нахождения системы между двумя крайними состояниями — абсолютной целостностью (рис. 3.3, *а*) и аддитивностью, расчленением системы на независимые части, что возможно осуществить различными способами (рис. 3.3, *б — д*), и соответственно в зависимости от способа выделения частей одна и та же система может характеризоваться различной целостностью.

Можно, например, расположить варианты иерархического представления системы в порядке возрастания или убывания степени целостности, т.е. появляется возможность оценки предложенных **А. Холлом** закономерностей прогрессирующей систематизации и прогрессирующей факторизации.

Эта особенность системного анализа сложных объектов путем представления их различными элементами принципиально отличает методологию системного исследования от методов формализованного представления, используемых для исследования и проектирования технических систем, собираемых из вполне конкретных деталей и узлов.

При этом легко видеть, что в случае модификации деталей и комплектующих, например, при сборке автомобилей, получаются различные модели автомобилей, качественно отличающиеся друг от друга, т.е. и в этом примитивном изменении элементов получается качественно иная целостность. В случае же сложных систем с неопределенностью, когда объект не имеет свои части готовыми, данными, а мы образуем их в процессе исследования, анализ диалектики части и целого с использованием информационного подхода приобретает особо важное значение, помогает понять, что, расчлняя систему по-разному, мы фактически получаем качественно различные варианты представления целостности, что и объясняет возможность использования иерархических представлений как средства исследования сложных систем с начальной неопределенностью.

Приведенные исследования проблемы взаимодействия части и целого позволили сформулировать основной закон системологии: сумма относительной связности α элементов в системе и относительной их свободы β представляет логическую константу 1:

$$\alpha + \beta = 1, \quad (3.34)$$

где $\alpha = -C_b/C_o$; $\beta = C_c/C_o$.

Системный C_c , собственный C_o и взаимный C_b смыслы, характеризующие сложность системы, измеряются в соответствии с информационными мерами, приведенными на рис. 3.2.

Этот закон положен в основу формализованного исследования закономерности целостности (см. гл. 1).

Применительно к общественным системам: сумма относительной справедливости α и относительной свободы β в любой общественной системе есть величина постоянная, так что свободы можно добиться лишь за счет справедливости, и наоборот.

Согласно этому закону все эгалитарные (социалистические) системы неизбежно тяготеют к застойному тоталитаризму, а все либеральные системы — к разрушительным крайностям социального расслоения.

В связи с этим необходимо напомнить, что иерархические представления систем могут быть не только древовидными. В этом случае расчет информационных оценок будет иным.

В случае иерархических структур со «слабыми» связями элементы, подчиняющиеся двум или более узлам вышележащего уровня, можно как бы «расщепить», подчинив их части разным вышележащим узлам; тогда можно проводить расчеты аналогично рассмотренным.

При этом целесообразно относительно оценить «расщепляемые» составляющие, что в случае оценки, например, организационных структур линейно-функционального типа можно оценить численностью управленческого персонала, занимающегося выполнением частей «расщепленной» функции.

В реальных условиях для эффективного функционирования хозяйственного механизма приходится выделять отдельные функции, отрасли и организовывать параллельное управление этими отраслями. Но и отрасли оказываются слишком громоздкими объектами, и приходится дробить их на подотрасли, объединения и т.п.

Так, для того чтобы справиться с необозримостью целого, создается иерархическая система. В этой системе может господствовать централизация, когда все решения принимаются на верхнем уровне, и все последующие уровни иерархии занимаются лишь конкретизацией этих решений и привязкой их к местным условиям. Может господствовать и децентрализация, когда все решения принимаются на местах, а верхние уровни служат лишь источниками финансирования мероприятий, имеющих региональное, отраслевое или общесистемное значение. В первом случае имеет место высокая управляемость, т.е. связность центральных и местных органов по всем функциям, но крайне неудовлетворительная согласованность между отраслями на местном уровне из-за высоких межотраслевых барьеров. Во втором случае, напротив, эти барьеры совсем отсутствуют, и предприятия различной отраслевой принадлежности свободно вступают в хозяйственные отношения на местном уровне, что обеспечивает их высокое взаимодействие и большую связность, но зато ощутимо снижается их управляемость со стороны центральных органов управления.

Систему можно представить как иерархическое пространство, в котором объекты тем менее взаимозависимы, чем больше уровней иерархии отделяет их друг от друга вне зависимости от территориальной общности.

Пример

Так, управляющему крупным объединением, расположенным на Дальнем Востоке нашей страны, гораздо легче связаться со своим министром, нежели бригадиру комплексной бригады предприятия, расположенного в Москве. В свою очередь министерские приказы раньше достигают управляющего объединением, нежели бригадира, где бы они не располагались. Поэтому расстояние в такой системе управления измеряется числом инстанций, разделяющих взаимодействующие объекты, а картины территориального и отраслевого управления при чрезмерной централизации последнего разительно не совпадают, поскольку близкое территориально оказывается далеким иерархически, и наоборот.

Для совмещения территориальных и отраслевых интересов и согласованного развития отраслей необходимо за счет ослабления централизованной регламентации второстепенных функций развивать горизонтальные межотраслевые связи на всех уровнях иерархической лестницы. При этом, вообще говоря, структура системы перестает быть древовидной иерархической. Она становится скорее всесторонне связанной, но для упорядочения взаимоотношений и документооборота удобно представлять ее в виде многоуровневой структуры с вертикальными и горизонтальными связями, отражая в ней оба принципа иерархического управления — территориальный и отраслевой.

На первый взгляд, такие системы напоминают цепные схемы управления, поскольку теоретически все связи их элементов могут быть прослежены на структурах. Но в больших системах это весьма трудно, если вообще возможно, и большое число и разнообразие всех связей приводит к «проклятию размерности». В этом случае полевое (диффузное) описание системы в пространстве ее структуры позволяет до некоторой степени ослабить пресс дефицита управляющих (вычислительных) ресурсов.

Обозначая через M «производственную мощность» объекта управления (имея в виду его способность производить любого рода продукцию, в том числе информационную, в соответствии со своим назначением) и через ρ — плотность M в каждой точке соответствующего пространства, потребуем, чтобы с учетом ограничений на пропускную способность системы управления потенциал в каждой точке был максимален:

$$H = \frac{1}{4\pi} \int \frac{R\rho}{r} dV = \frac{1}{4\pi} \int \frac{RdM}{r} \Rightarrow \max, \quad (3.35)$$

где r — число инстанций между данной точкой и каждой остальной в пространстве управления; R — доля общего числа функций объекта, участвующих во взаимодействии с каждой точкой.

Это обеспечивает максимальную управляемость и связность (целостность) системы, а тем самым и оптимальную структуру системы управления.

Рассмотрим на простейшем примере характерные закономерности системообразования. Положим, есть необходимость управлять четырьмя одинаковыми по M объектами, производящими качественно различную продукцию. Прямое управление (рис. 3.4) оказывается неосуществимым из-за чрезмерного объема информации, которую приходится перерабатывать центральному органу управления (вершина графа «а»). Тем не менее определим связность каждого из объектов со всеми остальными при этом способе управления, воспользовавшись выражением (3.35).

Согласно графу «а», приведенному на рис. 3.4, все объекты 1—4 находятся в равных условиях и разделены двумя инстанциями $r = 2$, так что $H_a = 3R_0M/4r\pi$, где для простоты положим $R_0 = 4\pi$.

Таким образом, потенциал прямого управления составляет $H_a = 1,5M$. Поскольку это управление по условию неосуществимо, объекты группируются по общим признакам, образуя систему (граф «б»). Потенциал управления в этой системе при равномерной нагрузке на все уровни $R = 0,5$ составит $H_b = (M/2 + 2M/4)/2 = M/2$, т.е. в три раза меньше, поскольку половина объектов оказывается связанной с другой половиной уже не через две, а через четыре инстанции.

Понятно, что если объектов много, то можно построить многоуровневую иерархическую систему по такому же принципу, но при

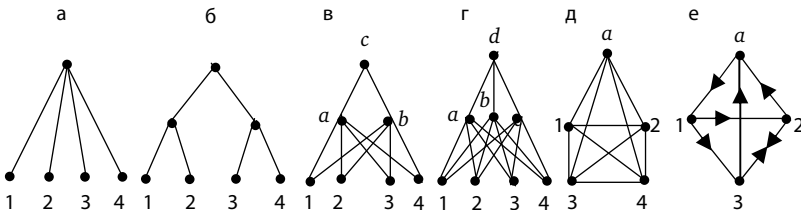


Рис. 3.4

этом потенциал будет тем меньше, чем больше уровней, поскольку часть объектов всегда оказывается связанной через число инстанций, равное удвоенному числу уровней иерархии управления. Стало быть, вынужденное наращивание уровней иерархии всегда связано со снижением эффективности управления. К тому же чиновники, оказавшиеся в вершинах графа управления, по понятной человеческой слабости стремятся снизить интенсивность своей деятельности и с этой целью плодят для себя заместителей, помощников, отделы, подотделы, т.е. увеличивают число уровней иерархии сверх необходимого, прикрывая уменьшение своей нагрузки необременительным для себя информационным шумом в форме избыточного бумаготворчества и потока малосодержательных указаний и запретов, что еще больше осложняет функционирование управляемых объектов.

Чтобы облегчить положение, можно попытаться построить иерархию не по древовидному, а по смешанному принципу (граф «в»), разделив функции управления, например, между отраслевыми и территориальными органами. Положим, доля чисто отраслевых, независимых от расположения объекта проблем составляет R_a и поддается непосредственному управлению в вершине a графа. Соответственно, доля чисто территориальных проблем составляет R_b и поддается непосредственному управлению в вершине b , а доля смешанных проблем составляет R_c и координируется центральным органом управления в вершине c графа. В результате потенциал управления составит $H_b = 3R_a M/2 + 3R_b M/2 + 3R_c M/4$, поскольку в рамках отрасли и территории объекты связаны через две инстанции, а смешанные проблемы связывают их только через центральный орган, т.е. через четыре инстанции, причем $R_a + R_b + R_c = 1$.

При этом $H_b = 3M(R_a + R_b + R_c/2)/2$, т.е. $3M/4 < H_b < 1,5M$ в зависимости от соотношения R_a , R_b и R_c . В частности, при $R_a = R_b = R_c = 1/3$ $H_b = 1,25M > H_6$. Причем левая граница интервала $H_b^{\text{лев}} = 3M/4$ получается при $R_c = 0$ и $R_a + R_b = 1$, а правая граница интервала — когда $R_a + R_b + R_c/2 = 1$.

Эта процедура разделения функций управления может, вообще говоря, продолжаться сколько угодно. В частности, для трех параллельных управлений (a , b , c) с центральной координацией d (граф «Г») получим $H_\Gamma = 3M(R_a + R_b + R_c/2)/2$, что при условии $R_a = R_b = R_c = 1/4$ составляет $H_\Gamma = 1,31M > H_b$, поскольку только функции координации, составляющие $1/4$, осуществляются через

четыре инстанции, а все остальные функции — через две. Однако следует иметь в виду, что чем больше разделение функций, тем большую роль должна играть координация на высшем уровне, т.е. тем больше доля осуществляемых через четыре инстанции операций, что не только снижает эффект разделения функций, но при значительном числе разнородных управлений может сделать его отрицательным. Действительно, если в последнем примере доля координируемых функций R_d составляет не $1/4$, а $1/2$ при $R_a = R_b = R_c = 1/6$, то $H_r = 1,25M < H_b$.

Наилучшим образом, казалось бы, проблема целостности реализуется, если элементы системы вступают в непосредственные связи на своем уровне, т.е. через одну инстанцию $r = 1$ (граф «д»). Если бы такие связи не вступали в противоречие друг с другом, то потенциал самоуправления был бы в два раза выше, чем H_a , поскольку $H_d = M + M + M = 3M$. Однако реально эти противоречия приходится разрешать централизованно (вершина a на графе «д»), т.е. через две инстанции, что приводит к снижению потенциала до $H_d = 3MR + 3MR_a/2 = 3M(R + R_a/2)$, где R — доля непосредственных связей между элементами; R_a — доля функций централизованного управления при $R + R_a = 1$.

При любом R_a , т.е. даже при весьма большой доле централизованного управления, $H_d \geq H_a$, что делает этот способ управления предпочтительным во всех случаях, хотя его преимущества тем больше, чем меньше доля централизованного управления. В частности, при $R = R_a = 0,5$ потенциал управления составляет $H_d = 2,25M$, т.е. в 1,5 раза больше чисто централизованного управления, а при $R = 2/3$ и $R_a = 1/3$ $H_d = 2,5M = 1,67H_a$. Это значит, что при организации системы управления следует группировать объекты таким образом, чтобы взаимные связи между ними требовали минимального согласования в центральных органах $R_a \Rightarrow \min$. Следует, однако, помнить, что нельзя просто игнорировать централизованную координацию, как это делается при чисто рыночном способе установления взаимных связей между объектами, поскольку тогда потенциал управления снижается на величину, пропорциональную $R_a/2$, и в последнем примере вместо $H_d = 2,5M$ составит $H_d = 2M$. В результате это неминуемо приведет к полной потере связности по некоторым функциями и устойчивости системы, т.е. разного рода кризисным явлениям как следствию $R \neq 1$.

Пример

Проиллюстрируем регулирующую функцию централизованного управления на простейшем примере взаимодействия трех объектов (граф «е» на рис. 3.4). Положим, объекты 1, 2, 3 связаны, во-первых, непосредственно через одну инстанцию $r = 1$, а во-вторых, друг через друга $r = 2$. Если бы не было централизованного управления (вершина a графа), то связи объектов 2 и 3 с 1 привели бы к столкновению объектов 2 и 3 между собой (встречные стрелки в ветви $2 \leftrightarrow 3$). Это могло бы выразиться в их конкуренции и в обрыве связи $2 \leftrightarrow 3$ с соответственным снижением общей связности управления. В этих условиях только централизованное управление в вершине a может разрешить конфликт, реализовав через себя связи $3 \rightarrow a \rightarrow 1$ и $2 \rightarrow a \rightarrow 1$, так что они не будут конфликтовать. Хотя это несколько снижает связность системы, но в меньшей степени, чем при конфликтном разрыве связи $2 \leftrightarrow 3$.

Таким образом, централизованное управление должно брать на себя только конфликтные связи, до некоторой степени восстанавливая таким путем общую связность системы.

Пример

Так, в последнем примере (граф «е» на рис. 3.4) без централизованного управления потенциал составляет $H_e = 2M/R$, поскольку конфликтная связь $2 \leftrightarrow 3$ не функционирует, а с централизованным управлением он ощутимо возрастает и составляет $H_e = 2MR + MR_a = M(2R + R_a)$, поскольку помимо связей 1 с 2 и 3 через одну инстанцию работает еще связь 1 и 2 через a и связь 1 и 3 через a , т.е. через $r = 2$ инстанцию. При этом доля централизованных связей, которая составляет R_a , просто увеличивает информационную проницаемость R системы по сравнению с разрывом связей $2 \leftrightarrow 3$.

Потенциал управления можно записать и в форме $H_e = 2M/R'$, где $R' = R + R_a/2 > R$ выступает как собственно целостность (связность) системы по ее функциям $\alpha = R' = H_e / 2M$, которая в идеале при $H_e = 2M$ равна 1, когда все функции связаны через $r = 1$ инстанцию. Вообще же R представляет собой непосредственную связность объектов, а R_a — их связность через управление. Поэтому с учетом $R + R_a = 1$ она представляет управляемость объектов и системы как целого. Другими словами, R характеризует самоуправляемость (свободу) системы, а R_a — степень централизации управ-

ления. Как было показано, при чрезмерной свободе в силу $R \neq 1$ реализуются не все функции объектов, что неминуемо приводит к конфликтам и кризисам, а чрезмерная централизация тормозит совершенствование, развитие системы. Поэтому оптимальной являются система, структура которой соответствует требованию (3.35) по максимально возможному потенциалу управления

$$H_i = R' \sum_{k=1}^{m-1} M_k \Rightarrow \max,$$

т.е.

$$H_i = \sum_{k=1}^{m-1} M_k (R_k + R_{ak} / r_k) \Rightarrow \max,$$

где m — число объектов управления; M_k — производственная мощность объекта; R_k — непосредственная связность этого объекта с исследуемой i -й точкой системы; R_{ak} — централизованная его связность с той же точкой; r_k — число инстанций централизованной связи; $R_k + R_{ak} = 1$.

Последнее подразумевает, что так или иначе реализуются все функции объекта, ибо в противном случае система вообще нежизнеспособна. Впрочем, если система неоднородна и неравнопотенциальна для всех объектов, то в интересах процветания наиболее актуальных функций у важнейших объектов некоторыми функциями второстепенных объектов можно пренебречь, так что для отдельных объектов $R_k + R_{ak} \neq 1$. Однако тогда следует изменить критерий оптимальности системы, обобщив его согласно (3.11):

$$C = \sum_{i=1}^m M_i H_i \Rightarrow \max \quad (3.36)$$

Критерий (3.36) позволяет выделять оптимальную структуру системы управления при любых условиях и в том числе с рядом жертв, которые с учетом реальных ограничений приходится приносить в отдельных местах и в определенных отношениях во имя процветания системы в целом. Согласно выражению (3.36) следует, во-первых, максимально развивать непосредственные связи R_k между объектами управления, пока они не вступают в противоречия друг с другом; во-вторых, по мере возможности уменьшать число r_k уровней централизованного управления; в-третьих, добиваться максимальной общей связности (потенциала) H_i для

возможно большего числа объектов с максимальной производственной мощностью M_i даже за счет некоторого снижения потенциала маломощных объектов управления.

Последнее требование может вступить в противоречие с выражением (3.35), которое несет в себе тенденцию уравнивания. «Уравниловка» снижает эффективность системы как целого, но зато ставит все объекты в сопоставимые условия. Поэтому реальный выход из положения состоит в ослаблении требования (3.35) и переводе его в число ограничений в форме $H_i \geq H_{\min}$, где H_{\min} гарантирует жизнеспособность каждого объекта, не слишком препятствуя глобальной оптимизации системы (3.36).

Отметим, что оптимизация абстрактной модели системы управления сама по себе не гарантирует успеха, поскольку не учитывает субъективный человеческий фактор, который всегда в известной мере «зашумляет» каналы управления и громоздит избыточную многоступенчатость связей. Выход из положения приходится искать на пути повышения заинтересованности (моральной и материальной) управленческого персонала в успехе функционирования подведомственных объектов. При этом важно иметь в виду, что при отсутствии межпартийной конкуренции за место в иерархии только поощрение снизу, а не сверху способно реально и актуально интенсифицировать работу органов управления и устранить бюрократические препоны на пути нововведений. И поскольку «взятка» является хоть и незаконным, но эффективным средством преодоления препятствий, ее следует регламентировать и легализовать в форме, например, добровольного отчисления по решению трудовых коллективов от прибыли предприятия в адрес органов управления или даже конкретных лиц в этих органах, что сделает как взяточничество, так и бюрократизм бессмысленным и накладным делом. Система же поощрения сверху заставляет лишь выслуживаться нижестоящего бюрократа перед вышестоящим, в то время как деятельность подведомственных объектов часто безразлична им обоим.

Учет динамики процессов управления в системе не меняет существо полученных выше выводов, только усугубляя негативные факторы многозвенного управления.

Действительно, если исчислять скорость распространения с информации в системе в количестве инстанций, преодолеваемых в единицу времени, то запаздывающий потенциал управления $H(t - r/c)$ дополнительно снижается за счет запаздывания информации на r/c , тем

большого, чем больше число инстанций r разделяет источники и приемники информации. В результате и без того «обездоленные» большим числом промежуточных инстанций объекты управления к тому же обрекаются на перманентное отставание от требований момента и плетутся в «хвосте» прогресса.

Однако в замкнутых системах, каковыми являются организационные и большинство технических систем, запаздывающая обратная связь объектов управления с центром и между собой неминуемо приводят к потере общей устойчивости системы и даже к ее полному развалу, если не принять специальных мер демпфирования ее самопроизвольного поведения.

Из этого положения существует два выхода. Один — радикальный — связан с ликвидацией лишних инстанций. Другой — консервативный — связан с уменьшением незаинтересованности инстанций (в особенности контрольных) в результатах их труда, что соответствует насаждению в них принудительной дисциплины. Однако в силу взаимной ригидности инстанций практически невозможно осуществить успешную совместную работу в системе заинтересованных (обратная связь) и незаинтересованных (прямая связь) органов, что делает консервативное решение весьма проблематичным. Если все же попытаться довести диктат заинтересованных органов над незаинтересованными до крайности, то это в конце концов автоматически приведет к радикальному решению, т.е. к ликвидации промежуточных директивных инстанций по настоянию контрольных инстанций обратной связи.

До сих пор мы описывали системы, не касаясь вопроса, для чего они создаются, т.е. какова цель их функционирования. Постановка этого вопроса сразу уводит нас в область так называемой прагматики, которая вместо содержания деятельности интересуется ее смыслом и важнейшей задачей которой является решение проблемы целобразования.

Формально смысл системы аналогичен ее содержанию

$$C = \sum_{k=1}^n J_k H_k,$$

где H согласно (3.23) определяется степенью p' целесообразности

$$H = -\log(1 - p'). \quad (3.37)$$

Из (3.37) следует, что чем больше деятельность системы или ее элементов соответствует цели этой деятельности, т.е. чем больше p' , тем больше смысла в этой системе, который стремится к бесконечности при $p' \rightarrow 1$, т.е. в случае идеальной системы, и стремится к нулю в случае абсолютно непригодной системы при $p' \rightarrow 0$. При этом p может определяться или как отношение реального результата деятельности системы к идеальному (желаемому) результату, или как вероятность достижения желаемого результата деятельности.

Например, если речь идет о системах вооружений, то их смысл тем больше, чем больше вероятность поражения цели. Но если попадание в цель обеспечивается стопроцентно, то смысл системы следует оценивать по степени разрушения цели при одном попадании.

Так, попадание одной ракеты или торпеды с обычным зарядом в авианосец практически не может его потопить, но согласно (3.37) смысл стрельбы определяется относительной величиной вызванных взрывом разрушений, т.е. степенью приближения к границе непотопляемости. В этом случае бесконечный смысл имеет только ядерная боеголовка.

Из изложенного на первый взгляд ясно, что целью создания системы или целью ее функционирования является достижение $S = \infty$. Однако это практически невозможно по ряду веских причин, таких как техническая нереализуемость или чрезмерная дороговизна.

Поэтому реально задача всегда ставится таким образом, чтобы в условиях ограничений $S \rightarrow \max$, т.е. чтобы достичь максимального значения смысла (3.36) в данных конкретных условиях.

При этом надо принять во внимание, что проектировщики далеко не всегда правильно представляют себе задачу системы, пытаясь, например, потопить авианосец, хотя достаточно просто разрушить взлетную полосу или вывести из строя систему управления полетами его палубной авиации.

В этих случаях следует говорить не о цели как информации в себе, а о том, как она представляется (отражается) в сознании проектировщиков, т.е. об отраженной цели как информации для них.

Если теперь учесть, что (3.36) с математической точки зрения представляет функционал существования системы, то с учетом всех замечаний следует определить цель системы как отраженный в ней экстремум функционала ее существования.

Речь здесь идет об экстремуме, а не о максимуме, поскольку иногда система должна обеспечивать минимум ущерба, как например система правил уличного движения должна обеспечивать минимальную опасность травматизма.

В случае, если такие оценки не удастся получить, либо реальные процессы необходимо представлять иерархическими структурами типа «страт» или «эшелонов», либо большое число и разнообразие связей между компонентами системы приводит к «проклятию размерности», следует использовать полевое описание системы в пространстве ее структуры.

Наряду с рассмотренными оценками, характеризующими структурные особенности систем, взаимоотношения частей и целого, часто бывает полезно оценить систему и ее структуру с точки зрения затрат труда на принятие решения в процессе функционирования системы. В частности, большинство управленческих решений связано с выбором исполнителя или адресата из числа сотрудников, подчиненных той или иной вершине организационной структуры.

Так, определяя, до сведения каких подразделений или отдельных сотрудников нужно довести соответствующую директивную или отчетную информацию, ЛПР затрачивает труд на прочтение хотя бы заголовков распределяемых документов, сопоставление их с наименованиями подчиненных подразделений (или с темами, выполняемыми подчиненными ему сотрудниками), т.е. на переработку определенной информации (которую можно оценить в буквах, словах, абзацах).

Таким образом, реальные затраты управленческого труда, т.е. фактический смысл (сложность) задачи C_Φ , превосходят ее структурный смысл во столько раз, во сколько ее фактически перерабатываемая для принятия решения информация J_Φ превосходит структурную J :

$$C_\Phi = \sum_{i=1}^J J_\Phi H_i, \quad (3.38)$$

где H_i — сущность (потенциал) i -го элемента структуры; J_Φ — информация, перерабатываемая тем же элементом, которая определяется с учетом числа состояний элемента (т.е. числа подчиненных ему составляющих) и числа выполняемых заданий.

Суммарная оценка затрат труда на принятие решений (выбор) при прохождении по структуре сверху вниз важна не только при анализе организационных структур, но и при определении структур баз данных, алгоритмов поиска информации в них.

Для оценки систем можно использовать характеристику полезной производительности (информационной мощности) N (3.31).

Можно также ввести коэффициент полезного действия η структуры, определяя его с учетом полных C_Σ и используемых C возможностей структуры с точки зрения конкретной цели:

$$\eta = C/C_\Sigma. \quad (3.39)$$

Дело в том, что с помощью приведенных на рис. 3.3 иерархических структур можно осуществлять выбор не только из элементов самого нижнего уровня иерархии, но и из элементов любого другого уровня (например, в структуре на рис. 3.3, б — выбор из элементов второго снизу уровня или из элементов второго сверху); тогда C_Σ будет больше оценок, приведенных на рис. 3.3, и можно определять коэффициент полезного действия η соответствующей структуры.

Еще раз оговорим, что оценки C_c , C_o , C_b и другие информационные оценки применимы лишь для сравнительного анализа систем, их элементов, структур, конструкций и т.п. При этом необходимо следить за тем, чтобы условия сравнения, принимаемые единицы измерения J и H (логарифмические, безразмерные), критерии сравнения, для оценки по которым используются C_c , C_o , C_b , были одинаковыми.

Следует также отметить, что оценки H , C , α , β зависят не только от вариантов структуры системы, но и от индивидуальных особенностей руководителя, принятых им принципов «вмешательства» в дела нижележащих уровней управления.

Если директор распределяет задания только между своими заместителями, не вникая в то, имеют ли они в своем подчинении подразделения, способные выполнить эти задания, то его вклад в принятие управленческих решений следует оценивать исходя не из восьми элементов нижнего уровня, а из числа подчиненных ему непосредственно заместителей. Тогда его H в вариантах «б» и «в», приведенных на рис. 3.3, б, в, будет одинаковым — $\log 2 = 1$ бит, а в варианте «г» на рис. 3.3, г — $\log 4 = 2$ бит. Соответственно изменятся и оценки C , α , β .

От выбранного подхода к управлению зависит также относительный вклад верхнего узла в затраты труда на принятие решений (на «один проход» по структуре сверху вниз), который можно использовать как еще одну характеристику для сравнительной оценки структур.

Так, если руководитель (директор, президент компании и т.п.) может влиять только на непосредственных подчиненных, то его вклад во всех вариантах будет меньше по сравнению с первоначальным подходом к оценке структуры, при котором предполагалось, что директор хорошо знает возможности всех контролируемых им подразделений (или даже подчиненных ему людей), т.е. элементов самого нижнего уровня структуры, и использует эти знания при принятии решений.

3.4. Особенности моделей диалектической логики

Как отмечалось выше, проблему системного моделирования объектов и проблемных ситуаций с неопределенностью с точки зрения информационного подхода можно представить в форме дискретной модели непрерывного бытия, отражающей диалектический синтез взаимно исключающих друг друга требований точности и обзримости, а задачей прикладной системологии и системного анализа является выработка средств достижения компромисса между «проклятием размерности» и высокой точностью системного моделирования актуальных задач практической деятельности человека.

Для понимания сути такого моделирования и возможностей информационных моделей обратим внимание прежде всего на принципиальное различие в подходе к числу в математике и повседневной практической деятельности. Если для математиков число «3» означает три абсолютно и безусловно одинаковые единицы, принципиально неразличимые между собой, то в практической деятельности любого рода мы пользуемся *именованными числами*, которым придаем совершенно иное значение и смысл.

Так, три человека в силу неустранимой индивидуальности заведомо и принципиально не идентичны друг другу, три яблока также не абсо-

лютно одинаковы, а каждый из трех килограммов сахара представляет собой 1 кг с точностью до погрешности взвешивания.

Математическое число представляет собой высшую, предельную степень абстракции количества, которой не соответствует никакое реальное, т.е. измеряемое, ощущаемое количество. Действительно, числа в математике всегда задаются с абсолютной точностью, никогда не достижимой в реальной действительности, и тем самым обретают статус *абсолютной истины*, к которой только и применим логический закон *исключенного третьего*, т.е. выражаемое математическим числом количество либо — истинно, либо — ложно, а третьего быть не может.

Между тем в реальной действительности приходится иметь дело только с *относительными*, хотя и объективными, истинами, в частности, таковы *именованные* числа, всегда получаемые с конечной точностью. В силу этой относительности, приближенности *именованные* числа не удовлетворяют закону *исключенного третьего*, поскольку двукратное измерение одного и того же количества из-за погрешности измерительного прибора обычно приводит к двум различным результатам, выражаемым различными *именованными числами*, но имеющими статус одинаковой (не абсолютной!) истинности с точностью до погрешности измерения $\pm \Delta x^1$ (т.е. результат измерения именованного числа $x \pm \Delta x$), что и учтено в информационной оценке J согласно (3.13).

Иными словами, *именованные* числа — это вовсе и не числа в математическом смысле, а диапазоны возможных значений тех или иных количеств, или в терминологии Заде — *размытые числа*, в лучшем случае соответствующие среднему значению многократных измерений. Именно поэтому в ряде приложений важно использовать оба способа (детерминированный и вероятностный) измерения J и H .

Размытость делает именованное число диалектическим объектом, способным развиваться, уточняться по мере совершенствования способов измерения и выражающим единство противоположностей, существующих в одно и то же время и в одном и том же отношении.

¹ Согласно классической теории измерений отклонение фактически измеренного значения какой-либо физической величины (например, длины, массы) предмета, вещества от истинного значения (которое измерено быть не может) называется ошибкой или погрешностью измерения. Результат измерения какой-либо физической величины с помощью именованного числа можно записать так: $x_{\text{изм}} = x_{\text{ист}} \pm \Delta x$, где $x_{\text{изм}}$ — измеренное значение физической величины; $x_{\text{ист}}$ — истинное значение физической величины; $\pm \Delta x$ — погрешность измерения.

Так, 3 кг сахара — это и 3, поскольку приблизительно соответствует истинному значению, и не 3, поскольку в какой-то мере (с учетом погрешности взвешивания) ему не соответствует.

Свойство размытости придает именованным числам сходство с понятиями, выражаемыми словами живой речи, поскольку они также всегда размыты.

Так, понятие «рост человека» размыто по всему диапазону возможных значений длины человеческого тела от лилипутов до гигантов и вполне может быть выражено именованным числом 170 ± 100 , где 170 см — средний рост человека, размытый в диапазоне от 70 до 270 см.

Что же касается математических чисел, то это метафизические объекты формальной (математической) логики, не способные совершенствоваться, уточняться в силу своего абсолютно истинного статуса, содержание которого не может быть выражено словами (если не считать словесного наименования числа, тождественного цифровой записи и имеющего всегда единственное абсолютно точное значение).

Важно также обратить внимание на тот факт, что в своем наименовании именованное число несет признак качества, что роднит его с понятиями гуманитарных наук и философии, но в отличие от них дополнительно сужает объем соответствующего понятия до рамок ошибки измерения.

Действительно, 3 кг означают не только массу вообще, но возможные ее значения в диапазоне $3 + \delta$, где δ — ошибка измерений, так что огромный объем понятия «масса» сужается до величины $n_0 = 2\delta/\Delta$, где Δ — минимально различимое ее значение, причем в частном случае $\Delta = 2\delta$, $n_0 = 1$. Таким образом, синтез частных наук идет в направлении формирования именованных чисел, выражающих противоречивое единство, компромисс всеобщности и точности.

На чувственном уровне противопоставление этих категорий весьма относительно и условно, преобладает их целостное, системное восприятие и взаимный переход друг в друга. Однако стоит нам абстрагироваться от конкретной реальности, как сразу же возникает два противоположных направления движения, одно из которых в конце концов ведет к философии, а другое — к математике, как предельно абстрактным наукам.

Первое из направлений — путь последовательных и безграничных обобщений, ведущих через понятия частных наук к всеобщим философским категориям. Характерная особенность этого направления состоит в последовательном возрастании размытости понятий, охватывающих по мере увеличения количества обобщений все больший и больший объем реальных явлений, который ведет к категории материи, охватывающей весь безграничный объем данной в ощущениях объективной реальности и в силу этого бесконечно размытой во всех свойствах, кроме свойства существовать и отражаться, поскольку последнее присуще всей реальности.

Поскольку размытость эквивалентна погрешности задания именованного числа, философские выводы, имеющие сравнительно большую размытость (погрешность), применимы лишь в среднем с учетом принципа конкретности истины. Более того, из-за размытости философских категорий проведение с ними каких бы то ни было логических операций бессмысленно, поскольку их результат будет также размытым, приближенным.

Так, ввиду относительности всех парных категорий (вроде формы и содержания, покоя и движения и т.д.) к ним бессмысленно применять логический закон исключенного третьего, ибо форма всегда содержательна в большей или меньшей степени. Содержание же не существует вне той или иной формы, не говоря уже о том, что движение и покой полностью обратимы и зависят от точки зрения наблюдателя. Однако именно из-за размытости на всю реальность философия говорит на языке этой реальности и является наукой обо всем сущем.

Иное дело — противоположное направление абстрагирования, ведущее по пути последовательного уточнения, по пути уменьшения размытости именованных чисел. При этом реальность все больше вытесняется за рамки размытости и в пределе оказывается полностью вне математического числа, воплощающего абсолютную точность. Действительно, реальные качества существуют лишь в рамках объективной размытости, конечной точности задания.

Именно поэтому абстрагирование путем бесконечного уточнения приводит к полному вытеснению из понятия «число» каких бы то ни было реальных качеств и делает математику, оперирующую числами, строго говоря, наукой ни о чем. Действительно, с математической точки зрения объем понятия n_0 числа, например 3, равен нулю, поскольку ошибка $\delta = 0$.

Но, с другой стороны, абсолютная точность объектов математики позволяет применить к ним ряд столь же абсолютно точных правил преобразования, сохраняющих абсолютную точность результата. Совокупность таких правил сводится к формальной логике, ощутимо облегчающей рутинные операции, а главное, легко реализуемой посредством кибернетической техники, что (на первый взгляд) делает математику в прикладном плане более актуальной, чем философия.

Так оно и было, пока математизации подвергалась и автоматизировалась сравнительно простая, но трудоемкая рутинная деятельность в проектировании или управлении предприятиями и организациями. Однако практика потребовала формализации и автоматизации все более сложной творческой деятельности, связанной с принятием решений в условиях неопределенности, размытости и даже противоречивости исходных данных, да еще на основе противоречащих друг другу критериев.

Специалисты-математики знают, что такого рода задачи вообще не поддаются строгому математическому анализу из-за принципиальной неприменимости к ним логического закона исключенного третьего. В этих размытых условиях именно философский анализ, диалектическая логика могут дать универсальный аппарат творческой деятельности, приемлемый для кибернетической техники. Для реализации такого подхода можно было бы, во-первых, создать специальные логические машины, оперирующие именованными числами на основе диалектической логики. Во-вторых, все гуманитарные науки (и философия) должны были бы научиться говорить на языке именованных чисел, приемлемых и для обычных ЭВМ, что представляется вполне реальным ввиду близкого родства между словом и именованным числом.

Об актуальности синтеза диалектико-материалистической методологии, т.е. философского содержания и математической формы, свидетельствует и проблема достоверности новых научных результатов. Хотя в качестве критерия истины должна выступать практика, подтверждающая или опровергающая соответствующие новации, но, не говоря уж об относительности критерия практики, последняя в большинстве случаев требует больших затрат времени и нередко огромных средств на постановку экспериментов, что заставляет искать пути априорного по отношению к практике теоретического установления истины. Обычно это делается посредством формаль-

но-логического анализа, а то и просто сопоставлением математических соотношений, вытекающих из новой теории, с соотношениями, характерными для господствующей парадигмы. В случае расхождения результатов в соответствии с законом исключенного третьего делается вывод либо о неполноценности господствующей парадигмы, либо об ошибочности новой теории.

Это нередко приводит к отрицанию, неприятию или даже «запрету» нового, как было с кибернетикой, генетикой, голографией, автоволновыми химическими реакциями, что наносит прямой ущерб экономике России из-за задержки с внедрением новых технических решений на промышленных предприятиях.

Между тем осознание размытости, относительной истинности господствующей парадигмы и ее формального аппарата могло бы в рамках закона единства противоположностей, если не примирить новую теорию с господствующими в науке представлениями, то, по меньшей мере, оградить это новое от запретительства в ожидании его широкой практической апробации.

С этой точки зрения крайне необходимо подчинение формального аппарата всякой теории отмеченному К. Марксом в послесловии ко второму изданию «Капитала» требованию диалектики: «В позитивное понимание существующего она включает в то же время понимание ее отрицания, его необходимой гибели, каждую осуществленную форму рассматривает в движении, следовательно, также и с ее преходящей стороны, ибо она ни перед чем не преклоняется и по существу своему критична и революционна».

Иными словами, в отличие от классической логики, где дизъюнкция A и $\neg A$ есть логическая константа, именуемая абсолютной истиной, в диалектической логике дизъюнкция противоположностей есть относительная истина, являющаяся переменным параметром непрерывного процесса познания, движущей силой которого выступает борьба, а не отрицание противоположностей.

Итак, философия и математика являют собой итоги, апогей прямо противоположных путей абстрагирования, что, на первый взгляд, делает их объекты далеко отстоящими друг от друга и несовместимыми. Именно в предельной якобы оторванности математики от реальности с точки зрения философии и в предельной якобы неточности философии с точки зрения математики и лежат корни затруднений на пути математизации гуманитарного знания.

В то же время эти альтернативные пути абстрагирования противоположны только в начале, а в конце движения дают нечто весьма схожее, если не одно и то же. Действительно, как качество, так и количество имеют общую цель: сужение объема понятия «объективная реальность» до объема понятия той или иной специальной науки. Но если качество делает это сужение путем отбрасывания всех свойств, кроме одного, интересующего данную науку, то количество еще более сужает объем понятия уже в рамках этого свойства путем отбрасывания всех его возможных значений, кроме одного или нескольких, представляющих конкретный интерес в данное время и в данном отношении. В результате появляется именованное число, отражающее объективную реальность, как качественно, так и количественно.

И поскольку количественная данность в реальных условиях всегда размыта в рамках разрешающей способности используемых измерительных средств, то математизация любой науки неизбежно идет по пути фактического отказа от математических чисел (что далеко не всегда осознается с полной ясностью) и размыwania математических правил обращения с ними.

Те математики-прикладники, которые начинают это осознавать, добиваются наиболее адекватных результатов в решении актуальных проблем, которые с точки зрения чистой математики сформулированы некорректно.

Разумеется, когда речь идет о материи, т.е. о беспредельно размытой категории, ее количественная данность тоже беспредельно размыта и в принципе могла бы быть выражена только беспредельно размытым именованным числом, если бы не беспредельная размытость самой размерности материи, делающая неприменимым к ней размерные величины.

Однако для другой универсальной категории, продукта отражения материи — *информации* — характерна как размытость, так и безразмерность, и ее количество зависит от разрешающей способности (точности) наших органов чувств и дополняющих их измерительных приборов.

Преимущество информации по сравнению с просто именованным числом состоит в том, что она непосредственно зависит от точности измерения. Если, имея именованное число 3 кг, ничего нельзя сказать о точности измерения, то количество информации согласно (3.13) прямо зависит от точности задания ΔA (кг, г, мг, м,

дм, см и т.д.) и поэтому может быть различным, зависит от конкретных целей моделирования.

Вообще, если материя не исчезает и не возникает, но лишь переходит из одной формы в другую, что фиксируется законом сохранения материи, то информации об одной и той же форме материи можно получить сколь угодно. Именно это ее свойство позволяет нам делиться информацией с другими людьми, самим ее не лишаясь. При этом количество информации все время растет, но так называемая безызбыточная информация, которая содержится в первоисточнике, остается одной и той же, и именно только она и адекватна отражаемой материи в количественном отношении.

Информация — диалектический объект не только в силу размытости, но и в силу способности эволюционировать, например, увеличивать свое количество по мере совершенствования измерительных приборов, служащих средством ее получения. По этой причине к ней применимы законы классической и формальной логики, за исключением законов тождества и исключенного третьего, а также вытекающих из них следствий. Вместо них к информации применимы законы единства противоположностей и отрицания отрицания, что и позволяет в рассматриваемых информационных моделях символически учесть как развитие, так и метафизически несоместимые противоположные требования.

В этих условиях вполне уместно говорить о символической диалектической логике как универсальном орудии решения реальных прикладных задач, носящих неопределенный (размытый) характер, что делает этот синтез философской размытости и некоторых логико-математических закономерностей, дополненных законами диалектики, куда более актуальным и эффективным, нежели метафизические строгости чистой математики.

Замена математического числа информацией (размытым числом), т.е. замена абсолютной истины относительной, позволяет использовать символическую запись любых суждений в форме символических уравнений (или неравенств) типа (3.21), (3.30), к которым применимы почти все правила математических преобразований за вычетом тех, что следуют из закона исключенного третьего, заменяемого в этих соотношениях законом единства противоположностей.

При формировании таких систем уравнений возникает вопрос, сколько же информации можно получить об объекте, если распола-

гать идеально точным прибором? На первый взгляд согласно (3.13) можно получить бесконечно много информации, поскольку идеальный прибор должен иметь погрешность $\Delta A = 0$, однако следует учесть, что любое материальное свойство существует как таковое лишь в рамках конечной точности, или размытости, нечеткости.

Здесь важно отметить, что реальные объекты нередко имеют установившуюся в процессе эволюции ΔA . Так, вид в биологии существует лишь с точностью до особи, живое существо с точностью до клетки, вещество в химии — с точностью до молекулы, действие в физике — до планковского кванта действия. И никакое уточнение здесь принципиально, без потери качества невозможно, хотя, например, молекула может быть разложена на атомы, но последние не являются веществом с химической точки зрения. Не говоря уже о расчленении особи или клетки. Аналогично результаты творческой деятельности человека, например музыкальное или живописное произведения, физически могут быть разложены на отдельные звуки или мазки, но отдельный звук — не музыка, а отдельный мазок — не живопись.

Таким образом, можно сделать вывод, что количество информации, потенциально содержащееся в материальном объекте, всегда конечно, поскольку соответствующее материальное свойство всегда реализуется в рамках конечной точности или минимального диапазона существования ΔB . Эту информацию мы будем именовать потенциальной и вычислять как $A/\Delta B$ в отличие от актуальной информации $A/\Delta A$, снимаемой с реальных приборов. Понятно, что безызбыточная часть потенциальной информации тем самым численно равна измеряемой материи, точнее конкретного материального свойства $M_k = A/\Delta B$. Отметим, что отношение $\Delta B/\Delta A$ и представляет собой информационную проницаемость R_k , фигурирующую в соотношении (3.1).

В то же время обратим внимание на тот факт, что для объектов естественной природы, в том числе биологических, ΔA формируется в процессе эволюции. Определение этого минимально значимого количества информации, т.е. *элемента* системы для искусственных систем типа предприятия, государства, при анализе конкретных проблемных ситуаций с неопределенностью не всегда просто. Именно поэтому в конкретных условиях моделирования прежде всего нужно определять ΔA_i для всех учитываемых в модели объектов или материальных свойств, отражая в этой оценке мнения наиболее компетентных экспертов (что будет проиллюстрировано

в гл. 6 на конкретных примерах и, в частности, на примере моделирования рыночной ситуации).

Обратимся теперь к диалектике отражения. Как уже отмечалось, в основе диалектики лежит отрицание и двойное отрицание (отрицание отрицания). Отрицание проявляет себя двояко: как внешнее отрицание, т.е. отрицание A посредством «не A » (о чем уже говорилось), и как самоотрицание, т.е. отрицание A изменениями, происходящими с самим A . Внешнее отрицание есть вместе с тем отрицание в пространстве, ибо A и «не A » всегда разобщены территориально, что помимо прочего и позволяет судить о них как о разных вещах; самоотрицание же есть всегда отрицание во времени, отрицание будущим A его же настоящего и настоящим A его же прошлого, происходящее в каждой точке пространства, занятого A . Как внешнее отрицание, так и самоотрицание есть следствие взаимоотрицания A и «не A » и самоотражения A соответственно. С учетом диалектики отражения и самоотражения мы и рассмотрим процесс становления чувственной информации, воспользовавшись для наглядности структурно-символической схемой, приведенной на рис. 3.5.

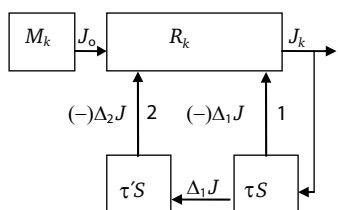


Рис. 3.5

На этой схеме стрелки изображают направления потоков информации в процессе отражения, а в квадратах изображены информационные проницаемости, символизирующие способность органов чувств к отражению материи, а также изменений, происходящих с информацией.

Символ S ради сокращения записи обозначает диалектический оператор d/dt , в котором d соответствует процессу отрицания, выраженному в естественном языке словом «не». Например, dA есть то же самое, что и «не A ». Весь же оператор d/dt содержит в знаменателе еще указание на то, что отрицание происходит во времени, т.е. речь идет о самоотражении, которое противопоставляет A в момент времени t ему же самому, но в иной момент, т.е. не в t или dt .

Итак, материя M_k воздействует на органы чувств и с учетом реальной информационной проницаемости R_k среды должна была бы отразиться ими как $J_k = R_k M_k$, однако этому препятствуют процессы самоотражения органов чувств. Действительно, по мере

отражения будут возникать приращения ΔJ информации, которые являются новообразованиями, чуждыми предшествующей информации и отрицающими ее, поскольку эти приращения являются «неА» по отношению к принятой за А информации в предшествующий промежуток времени. Это обстоятельство на структурной схеме символизируется величинами $\Delta_1 J$ и $\Delta_2 J$ со знаком «минус» (указан в скобках), которые вычитаются из потенциальной информации J_o , хотя и порождаются ею же. При этом приращение $\Delta_1 J$ представляет приращение информации за характерный промежуток τ времени t , так что накопление «не J_k » за время τ дает $\Delta_1 J$, т.е. $\Delta_1 J = \tau dJ_k/dt$.

Вместе с тем, поскольку отражение и отрицание идут в общем случае с непостоянным темпом, $\Delta_1 J$ само подвержено приращениям $\Delta_2 J$ от одного промежутка времени τ к другому, а эти приращения являются «не А» по отношению к $\Delta_1 J$ и отрицают их. В результате $\Delta_1 J$ представляет приращение $\Delta_1 J$ за характерный промежуток времени τ' , так что накопление «не $\Delta_1 J$ » за время τ' дает $\Delta_2 J$, т.е. $\Delta_2 J = \tau' d\Delta_1 J/dt$. Поскольку же $\Delta_1 J$ само является «неА» по отношению к J_k , то $\Delta_2 J$ является уже «не неА», т.е. отрицанием отрицания J_k , что символизируется $d/dt(dJ_k/dt) = d^2 J_k/dt^2$, так что $\Delta_2 J = \tau' \tau d^2 J_k/dt^2 = L d^2 J_k/dt^2$, где $L = \tau' \tau$.

Пользуясь терминологией теории автоматического управления, можно сказать, что процесс самоотражения образует два контура отрицательной обратной связи: один — по скорости (обозначен цифрой «1»), другой по ускорению процесса (обозначен цифрой «2»), которые замедляют процесс отражения, уменьшая в каждый момент времени актуальную информацию J_k по сравнению с потенциальной информацией J_o , так что

$$J_k = R_k(J_o - \Delta_1 J - \Delta_2 J) = R_k(J_o - \tau dJ_k/dt - L d^2 J_k/dt^2).$$

В результате с учетом $J_o = M_k$ имеем

$$M_k = J_k/R_k + \tau dJ_k/dt + L d^2 J_k/dt^2. \quad (3.40)$$

Это соотношение гносеологически символизирует процесс становления информации (знания) как совокупности внешнего отра-

жения материи (первое слагаемое) и самоотражения (второе и третье слагаемые), причем последние символизируют соответственно отрицание и отрицание отрицания информации.

Диалектико-логическое соотношение (3.40) символизирует синтез знания как единство противоположностей, тезиса J_k/R_k и антитезиса $\tau dJ_k/dt$, опосредованных переходным членом Ld^2J_k/dt^2 .

Наконец, математически — это дифференциальное уравнение второго порядка, связывающее информацию и материю и позволяющее оперировать количествами того и другого. Последнее стало возможным, поскольку, описав вначале чисто символически посредством структурной схемы процессы отражения, мы указали способ измерения в каждом конкретном условиях, скрывающихся за символами M_k и J_k материи и информации.

Тем не менее (3.40) может использоваться и для чисто качественного, содержательного описания диалектики отражения, поскольку в соответствии с вышеизложенным эта символика может интерпретироваться и в естественном языке; материя в каждый момент t отражения выступает как совокупность потенциально усвоенной информации (J_k/R_k), его накопившегося за τ отрицания dJ при отрицании dt постоянства времени и накопившегося за L отрицания отрицания при тех же условиях.

В этом изречении материя вполне может быть заменена потенциальной информацией J_o , или, что то же самое, абсолютной истиной, имея в виду, что актуальная информация J_k является относительной истиной. Однако это качественное описание не позволяет исследовать всякого рода тонкие эффекты, нюансы, доступные лишь строгому количественному анализу.

На основе решения уравнений типа (3.40), описывающих соответствующие проблемные ситуации принятия решений, могут

быть получены варианты процессов принятия решений для различных значений

$$\delta = \frac{\tau}{2} \sqrt{\frac{n}{L}}, \text{ примеры которых приведены на}$$

рис. 3.6. Решение (3.40) позволяет исследовать характер процесса становления знания в зависимости от соотношения параметров R_k , τ и L органов чувств. При этом, если $R_k \tau^2 > 4L$, процесс носит постепенный плавный характер (кривая $\delta > 1$ на рис. 3.6),

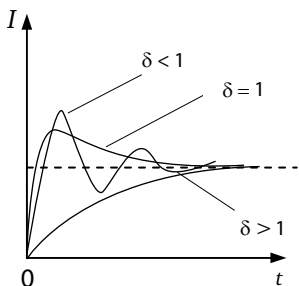


Рис. 3.6

а если $R_k \tau^2 < 4L$, то процесс носит колебательный характер (кривая

$\delta = 1$ на рис. 3.6) с частотой $\omega = \sqrt{4L / R_k - \tau^2} / 2L$, которая имеет

максимальное значение $\omega_{\max} = (\sqrt{LR_k})^{-1}$ при условии, что $\tau = 0$.

С другой стороны, эта точность описания может оказаться иллюзией, если мы заранее не изучим влияние информации I и ее производных на параметры органов чувств. Согласно диалектическому закону перехода количественных изменений в качественные следствием такого влияния может быть качественное изменение систем отражения, не поддающееся линейному описанию (3.40), ввиду непостоянства параметров R_k , τ и L . Тщательное изучение органов чувств (человека или системы восприятия информации предприятия) позволяет задать эти параметры как функции информации и ее производных. Это превратит (3.40) в нелинейное уравнение, однако в этом случае его решения уже не будут сводиться к изображенным на рис. 3.6 кривым, да и сами решения не всегда могут быть получены аналитически. Таким образом, наиболее эффективен при изучении процессов отражения синтез диалектики и математики, при котором всегда справедливая качественная трактовка (3.40), обладающая достоинством всеобщности, сопровождается количественным уточнением нюансов посредством математического решения (3.40) для конкретных, особых условий отражения.

В свете сказанного становится необходимым проследить пути формирования на основе единого продукта чувственного отражения столь различных категорий, как количество и качество.

Попробуем пояснить графически различие между бинарной и диалектической логикой. Допустим, мы располагаем некоторой шкалой истинности суждений, помещенных на оси ординат (рис. 3.7). По оси абсцисс откладывается время. Математическая логика признает только два состояния по шкале истинности для любого суждения: либо истинно, обозначаемое единицей, либо ложно, обозначаемое нулем. В отличие от нее диалектическая логика использует всю шкалу между 0 и 1, причем допускает сколь угодно малые шаги по этой шкале.

В частности, относительно истинное суждение диалектической логики может в своем

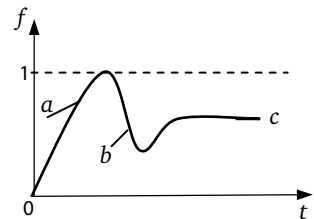


Рис. 3.7

развитии последовательно проходить, например, состояния a , b , c , каждое из которых «не истина» и «не ложь» в смысле бинарной логики. Если исходным является суждение a , то согласно закону изменчивости (отрицания) через некоторое время оно разовьется в суждение b , а затем согласно закону отрицания отрицания в c , как показано на рис. 3.7.

В бинарной логике, если начальным было состояние «0», но удалось доказать, что на самом деле «1», то отрицание нуля в какой-то момент приведет к скачкообразному переходу в состояние «1» (рывистая линия на рис. 3.7). Но если потом доказано, что «1» быть не может, то отрицание отрицания нуля вновь приведет к скачку в «0» и т.д. без конца, если суждение парадоксально.

Это и происходит, например, в парадоксе лжеца: нельзя дать положительного ответа на вопрос «Ты лжешь?», ибо если ответ «То, что я говорю — ложь» правда, то отвечающий солгал, а если это ложь, то отвечающий произнес истину.

Диалектическая логика не может оказаться в такой ситуации, поскольку для нее все истины относительны: «То, что я говорю, — в какой-то мере ложь». Это означает, что если я сказал в какой-то мере правду, то это справедливо; если же я в какой-то мере покровил душой, то это не менее справедливо.

Процесс становления логической информации H может быть пояснен аналогично рассмотренному процессу становления чувственной информации J .

Наша субъективная логика и объективная логика природы аналогичны, хотя природа не выбирает объектов для приложения своей логики, а мы делаем это по своему желанию.

Все же абсолютное противопоставление бинарной и диалектической логики было бы неверно, поскольку при дроблении объектов исследования эти виды логики могут переходить друг в друга.

Диалектика — это логика целостности, а бинарная логика — логика частей, к которым можно свести систему при достаточно глубоко дроблении объектов. Это значит, что главной причиной системных представлений является стремление обойти сложную диалектику целого путем перехода к бинарной логике его частей. Но диалектическое суждение не есть сумма бинарно-логических суждений, так что структуризация может привести к потере целостности.

Для сохранения целостности системы и используются различные виды усреднения воспринимаемой информации, отобража-

емые в соответствии с (3.24) в H . Важным этапом при формировании моделей является выбор параметра усреднения γ . Полученные в соответствии с выбранным γ значения H , в свою очередь, отражаются в оценке сложности системы S . В результате из одинаковых элементов в различном сочетании можно получить разную целостность, и, напротив, одинаковые целостности могут быть получены из разных элементов.

Диалектическая логика — это прежде всего логика человеческого мышления на вербальном уровне, т.е. в формах человеческой речи. Хотя возможна ее формулировка и на образно-интуитивном (бессловесном) уровне. Главная особенность диалектической логики состоит в том, что она является логикой относительной истины в отличие от примитивной классической аристотелевской (бинарной математической) логики, являющейся логикой абсолютной истины. При всем том классическая логика является частным предельным случаем логики диалектической, когда из всех степеней истины рассматриваются только два крайних ее состояния: абсолютная истина и абсолютная ложь, которые абсолютно противопоставляются друг другу. В этой логике истина никогда не может быть ложью, а ложь — истиной, что и дает основание для главного закона классической логики — закона исключенного третьего: «Из двух противоречащих суждений одно истинно, другое ложно, а третьего быть не может».

Классическая логика — это логика чисел, а диалектика — логика слов и выражаемых ими понятий.

Рассмотренные модели позволяют уточнить перечень законов диалектической логики.

Первый закон диалектической логики — основной закон логики, справедлив как для классической логики, так и для диалектики.

Согласно этому закону сущность H понятия обратно пропорционально его объему n (3.14). Здесь под объемом понятия подразумевается общее число однородных объектов или явлений, информация J о которых легла в основу понятия. При этом, чем больше объектов, тем меньше в расчете на один из них следов информации J_k , присущих только одному или немногим объектам. И в результате согласно (3.14) при $n \rightarrow \infty$ от них ничего не остается (как это случилось с понятием материи).

Напротив, при $n = 0$, т.е. в случае идеального (несуществующего) объекта, сущность информации о нем бесконечна, однако она ни о чем.

Поэтому философия, понятия которой охватывают все сущее, вправе судить обо всем, однако такие суждения с неизбежностью безадресные, неконкретные. Напротив, математика идеальных чисел абсолютно конкретна в своих заключениях, которые при этом, строго говоря, не имеют отношения к реальным объектам.

Зато при $n = 1$, т.е. применительно к единственному объекту, понятие совпадает с полной информацией J о нем, сохраняя все индивидуальное богатство красок и оттенков.

Практическая польза от знания этого закона для системного анализа состоит в том, что нельзя механически переносить выводы, полученные на основе понятия одного объема, на понятие иного объема.

Из всего этого вытекает и еще одна формулировка основного закона логики: «Истина всегда конкретна». Это значит, что на статус истины в полной мере может претендовать только информация J_k о конкретном объекте, т.е. при $n = 1$. Любая другая информация заведомо носит размытый, относительный статус.

Помимо того, чем больше объем понятия, тем больше конкретной информации $\Delta J = (1 - 1/n) \sum J_k$ исчезает в процессе усреднения.

Второй закон диалектики — закон развития: «Все течет и все изменяется». Это сугубо диалектический закон, поскольку в классической логике всегда A есть A и 1 есть 1 .

Это значит, что становление истины идет непрерывно и никогда не заканчивается, во-первых, потому что изменяется реальность, а во-вторых, совершенствуется само знание, так что никто не может претендовать на знание истины в последней инстанции.

Главное требование этого закона состоит в необходимости учета не только сиюминутного среза изучаемого явления, но и инерции его развития. Иными словами, сущность явления складывается не только из сущности состояния объекта, но и из сущности его движения, причем последняя может значительно превосходить первую.

Третий закон диалектики — закон отрицания отрицания. Пусть J есть тезис, $\Delta_1 J$ есть антитезис, т.е. отрицание J , а $\Delta_2 J$ есть антиантитезис, отрицание отрицания J . Иными словами, если J есть A , то $\Delta_1 J$ есть «не A », а $\Delta_2 J$ есть «не не A », т.е. определенный, хотя и неполный в отличие от классической логики, возврат к A .

Это и есть знаменитое развитие по спирали, чреватое циклическими возвратами к изначальным формам, но с иным уже содержанием.

Четвертый диалектический закон единства и борьбы противоположностей требует избегать абсолютизации как момента борьбы, так и момента солидарности противоположностей, которые и возникают-то вследствие субъективного расчленения единого целого ради облегчения познания противоречивых частей его.

Пятый диалектический закон перехода количественных изменений в качественные акцентирует внимание на необходимости избегать абсолютизации тенденций развития, выявленных в начале процесса, ибо в дальнейшем они могут измениться вплоть до своей противоположности, причем именно вследствие развития. Формально этот закон требует учета нелинейности многих процессов, зависимости характерных показателей от его хода.

Из этого закона следует также, что сумма свойств частей не есть свойство целого, а отрицание целого не обязательно означает отрицание частей, ибо может относиться к отрицанию лишь того нового свойства, которое возникло вследствие синтеза частей.

Шестой диалектический закон всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости явлений требует учета всех факторов, определяющих исследуемый процесс, а не только тех, что кажутся доминирующими.

Система этих шести законов является полной и замкнутой, т.е. самодостаточной для описания любых явлений. Тем не менее, комбинируя эти законы, можно сформировать и ряд других законов, которые удобны в конкретных обстоятельствах. Однако эти новообразования являются избыточными и вторичными по отношению к вышеизложенному.

Тем не менее в важных частных случаях законов перехода количественных изменений в качественные и отрицания отрицания получаются так называемые законы Кирхгофа, важные в прикладном отношении. Первый закон Кирхгофа получается из первого из этих законов в том частном случае, когда суммирование частей не рождает новое качество. Отсюда следует, что в этом случае отрицание целого есть отрицание частей, и наоборот. Второй закон Кирхгофа получается из закона двойного отрицания, когда логическая спираль оказывается замкнутой, т.е. когда цепь суждений приводит к исходному тезису. Вто-

рой закон Киргофа как раз и констатирует: «Хождение по логическому кругу бессмысленно».

Законы диалектики имеют аналоги в классической логике, за исключением закона единства и борьбы противоположностей с его следствиями, ибо он прямо противопоставляется закону исключенного третьего. Следствием этого закона в классической логике является закон тождества: «Всякое суждение тождественно самому себе при любых условиях». Следствием же закона единства и борьбы противоположностей диалектики является противоположное заключение: «Всякое суждение не тождественно самому себе в силу своей неоднозначности».

Практически это значит, что ввиду размытости, неоднозначности вербальных форм (суждений) диалектика умудряется делать умозаключения, даже если исходные суждения противоречат друг другу. Аналогичная картина возникает, когда имеются два тождественных суждения, что в классике равнозначно одному суждению.

Остальные законы классической логики и диалектики различаются тем, что в первом случае любые деформации исходных суждений могут быть только скачкообразными (либо «истина», либо «ложь»), а во втором случае все переходы плавные и непрерывные с бесконечным множеством состояний между истиной и ложью. Поэтому классическая логика является бинарной, двузначной, а диалектика — бесконечно многозначна.

Диалектическая логика незаменима при принятии решения в условиях противоположных требований к нему.

Основные особенности информационного подхода.

1. Информационный подход базируется на *формализованном представлении диалектической логики*, в которой отсутствует закон исключенного третьего, а следовательно, имеется возможность отображения развивающихся систем.
2. Подход базируется на трактовке понятия *информации* как *меры отражения материального мира* и формализованном представлении законов отражения (чувственного и логического).
3. Закон чувственного отражения формализует взаимосвязь понятий Канта «вещь в себе» и «вещь для нас», т.е. взаимосвязь ноумена и феномена.

4. В концепции вводится три информационных меры: *чувственная информация*, или информация восприятия (отображения элементной базы системы); *логическая информация* (характеризующая значимость, потенциал воспринятой информации); логическое пересечение этих видов информации, характеризующее *содержание*, *сложность* полученного информационного отображения.
5. Информационное содержание (сложность) делится, в свою очередь, на *собственную*, *системную* и *взаимную*. Это позволяет исследовать проблему формирования целостности (системной сложности), количественно оценивать степень целостности системы и свободы ее элементов как борющихся диалектических противоположностей.
6. Использование законов диалектики позволяет разрабатывать и исследовать модели не только в *статике*, но и с учетом *кинетики* и *динамики* переходных процессов в системе, а также с учетом *взаимного влияния* исследуемых объектов.
7. В развитие закона всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости сформулирован основной закон системологии: сумма относительной связности α -элементов в системе и относительной их свободы β представляет логическую константу 1 (3.34):

$$\alpha + \beta = 1,$$

где $\alpha = -C_B/C_O$; $\beta = C_C/C_O$ (системный C_C , собственный C_O и взаимный C_B смыслы, характеризующие сложность системы, измеряются в соответствии с информационными мерами, приведенными на рис. 3.2. Измерения можно проводить в том числе с учетом законов диалектики).

С учетом рассмотренного выше, информационный подход к анализу систем имеет широкий спектр приложений для получения соответствующих расчетных оценок, позволяет получать оценки информационных структур, свертку разнородных критериев при решении многокритериальных задач, разрабатывать методы организации сложных экспертиз, оценивать переходные процессы при-

нения решений, тенденции развития систем различной физической природы и т.д.

С примерами использования этих приложений подхода к исследованию конкретных задач и проблемных ситуаций можно познакомиться в работах [1, 2, 4, 10—12, 33, 34 и др.] и гл. 6, 7.

Темы для самоконтроля

1. Основные особенности информационного подхода к анализу систем.
2. Основные понятия информационного подхода к анализу систем.
3. Чувственная информация, или информация восприятия.
4. Логическая информация, или информационный потенциал.
5. Прагматическая (целевая) информация.
6. Сложность (содержание, смысл) информации.
7. Применение информационного подхода при исследовании проблемы части и целого в системе.
8. Оценка степени целостности и свободы элементов в системе.
9. Сравнительный анализ иерархических структур.

ГЛАВА 4

Постепенная формализация моделей принятия решений

В гл. 2 была приведена классификация методов моделирования систем. В этой главе в качестве одного из специальных методов системного анализа назван подход, основанный на идее постепенной формализации модели решения задачи (анализа проблемной ситуации) путем попеременного использования методов, направленных на активизацию использования интуиции и опыта специалистов, и методов формализованного представления систем.

В данной главе приводится краткая характеристика возникновения и развития этого подхода.

После изучения данной главы студент должен:

знать

- принципы постепенной формализации модели принятия решений;
- примеры моделей для исследования информационных потоков;
- основные принципы морфологического подхода Ф. Цвикки;
- принципы реализации метода систематического покрытия поля, метода отрицания и конструирования;
- методику и алгоритмы реализации метода морфологического ящика (на примере его применения при моделировании задач планирования и распределения с использованием автоматизированных процедур);

уметь

- применять идею постепенной формализации модели принятия решений при исследовании информационных процессов;

владеть

- навыками разработки морфологических моделей.
-

4.1. Понятие о постепенной формализации моделей принятия решений

Из истории возникновения подхода

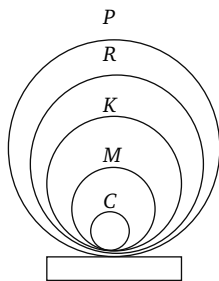


Рис. 4.1

Идея подхода, основанного на постепенной формализации модели принятия решений, имеет свою историю, связанную с идеей «гена» **Ф. Е. Темникова**.

В 1970 г. **Ф. Е. Темников** предложил состав (рис. 4.1) основных функций любой системы:

C — связь (*communication*), регистрация, передача информации, перемещение ее в пространстве *G*; *M* — память (*memory*), хранение информации, перенос ее во времени *t*; *K* — расчет (от слов «калькулятор», «компьютер»), обработка, получение новой информации *J*; *R* — рассудок (*reason*), разум; *P* — политика.

Этот набор функций, утверждал **Ф. Е. Темников**, являющийся отличительной особенностью любой сложной живой системы, необходим и достаточен для ее реализации.

Для относительно простой технической системы, в которой происходит движение информации в какой-либо форме, достаточно только переноса информации в пространстве (рис. 4.2, а), т.е. функции *C*, после применения которой система попадает в точку $A = f(G)$ (например, системы передачи информации, телефонной связи и т.п.).

Пример

Более сложными являются технические системы с *памятью*, в которых наряду с передачей информации предусматриваются блоки ее *задержки* во времени (хранения), т.е. выполняются функции *C* и *M*. В результате (рис. 4.2, б) система попадает в точку $B = f(G, t)$.

Для того чтобы систему можно было назвать *информационной*, в ней должна осуществляться еще и обработка информации, т.е. выполняться три функции — *C*, *M* и *K* (рис. 4.2, в), после применения которых система попадает в точку $D = f(G, t, J)$.

В живых системах недостаточно способности к обработке информации типа расчетов, появляется еще и рассудок, разум. А в более сложно организованных социальных системах — еще и функция политики *P*.

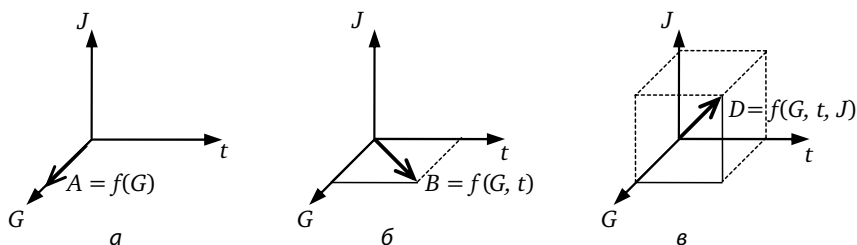


Рис. 4.2

Изображение в форме окружностей **Ф. Е. Темников** назвал «контурами» связи, хранения, расчета, рассудка и политики, которые должны формироваться в сложной системе. Для информационной системы достаточно первых трех контуров.

Для пояснения полезности предлагаемого набора функций **Ф. Е. Темников** предложил эксперимент с помещением разработчика в комнату с практически нулевой начальной информацией, т.е. в ситуацию с большой начальной неопределенностью, и постепенным ее накоплением для развития системы.

Пример

Пусть Вас поместят в изолированную комнату и дадут Вам средства связи (телефон, телетайп), «памяти» (хотя бы средства для организации картотеки хранения информации) и «расчета», т.е. какие-то средства обработки информации, хотя бы простейшие вычислительные устройства. В то время не было персональных компьютеров, которые могли бы одновременно обеспечить в небольшой комнате функции M и K , а тем более сети Интернет, которая обеспечивает все три функции C , M , K .

Первый же звонок по телефону: «В какой группе учится студент Иванов?» позволяет Вам понять, что в системе есть «студенты», «группы», и Вы начинаете создавать картотеку студентов, пользуясь опять-таки средством связи и другими средствами той среды, в которую Вас поместили. Следующие вопросы из внешней и внутренней среды о преподавателях, научных исследованиях, о неисправностях какого-либо оборудования и т.п. заставят Вас создавать все новые картотеки, упорядочивать их и т.д. Так и будет постепенно развиваться информационная система.

Таким образом, вместо того чтобы обследовать существующую сложную систему управления, «перечислять» все ее элементы, с чего

обычно начинались все разработки автоматизированных информационных систем, **Ф. Е. Темников** предлагал подход постепенного накопления информации о системе на основе набора функций, необходимого для системы данного класса.

Пример

В последующем этот набор контуров-функций (которые можно детализировать) мы стали называть «геном» Темникова. Идея не сразу была понята. Особенно включение контура «политика». Важность этой функции была осознана только в 1990-е гг., когда этот «контур» начал активно проявляться в нашем обществе.

Под влиянием этой идеи в последующем одним из авторов учебника [21] был предложен подход, основанный на *постепенной формализации* моделей принятия решений, развитие которого также имеет свою историю.

В 1972 г. для пояснения идеи *постепенной формализации* был проведен «эксперимент» с пятиклассницей. Аленка нашла в разделе головоломок одного из популярных журналов задачу, которую невозможно было решить известными ей методами математики. Формулировалась задача следующим образом.

Известно: в столовую вошла группа посетителей, которые вначале сели за несколько столов по 6 и по 7 человек; а затем разместились поровну, по 11 человек, заняв z столов.

Требовалось определить: сколько посетителей вошло в столовую, если их было больше 100 и меньше 150.

Формально ситуация, предлагаемая в головоломке, описывается уравнением с числом неизвестных больше, чем число уравнений

$$6x + 7y = 11z \quad (4.1)$$

и ограничением $100 < 11z < 150$.

Уравнение (4.1) имеет три неизвестных, т.е. число неизвестных больше, чем число уравнений. Следовательно, к нему не применимы обычные методы решения алгебраических уравнений. Попытки применить искусственные приемы также не позволяют получить все варианты решения, даже если учесть ограничение. Да эти приемы и не могла знать пятиклассница. Остается — перебор или случайный подбор, на который и рассчитана головоломка.

Чтобы ускорить такой перебор, его можно попытаться несколько направить с помощью подсказок, обеспечивающих постепенную помощь в получении результата.

«Аленка, — сказали мы вначале, — а ты попытайся применить *то, что знаешь*. Таблицу умножения, например».

Снять ограничение «10», обычно задаваемое формой таблицы умножения, помогло то, что в правой части уравнения (4.1) z сразу умножается на 11.

Под членами уравнения быстро стали появляться столбцы произведений (рис. 4.3).

$6 \times 1 = 6$	$7 \times 1 = 7$	$11 \times 1 = 11$
$6 \times 2 = 12$	$7 \times 2 = 14$	$11 \times 2 = 22$
$6 \times 3 = 18$	$7 \times 3 = 21$	$11 \times 3 = 33$
$6 \times 4 = 24$	$7 \times 4 = 28$	$11 \times 4 = 44$
$6 \times 5 = 30$	$7 \times 5 = 35$	$11 \times 5 = 55$
$6 \times 6 = 36$	$7 \times 6 = 42$	$11 \times 6 = 66$
$6 \times 7 = 42$	$7 \times 7 = 49$	$11 \times 7 = 77$
$6 \times 8 = 48$	$7 \times 8 = 56$	$11 \times 8 = 88$
$6 \times 9 = 54$	$7 \times 9 = 63$	$11 \times 9 = 99$
$6 \times 10 = 60$	$7 \times 10 = 70$	$11 \times 10 = 110$
$6 \times 11 = 66$	$7 \times 11 = 77$	$11 \times 11 = 121$
$6 \times 12 = 72$	$7 \times 12 = 84$	$11 \times 12 = 132$
$6 \times 13 = 78$	$7 \times 13 = 91$	$11 \times 13 = 143$
$6 \times 14 = 84$	$7 \times 14 = 98$	$11 \times 14 = 154$
$6 \times 15 = 90$	$7 \times 15 = 105$	$11 \times 15 = 165$

Рис. 4.3

Подождав немного (примерно до умножения на 15), мы применили следующую подсказку:

«не увлекайся перечислением элементов».

В данном случае, приняв за элементы $6x$, $7y$, $11z$, мы предложили школе остановиться и подумать, что можно сделать с полученными столбцами произведений дальше, т.е. предложили *возвратиться к формулировке задачи*.

Еще одна подсказка для ограничения перебора содержится в условии задачи — в ограничении $100 < 11z < 150$. Следовательно, нужно рассматривать только этот диапазон сумм.

Однако перебор при этом (в приводимом примере — это число размещений с повторениями) в случае 15 произведений под тремя столбцами составит $15^3 = 3375$ (!).

Далее школьница уже сама предложила прием, которым часто пользовалась в школе: *не вычислять полностью суммы, а проверять вначале суммы последних цифр слагаемых на совпадение с последней цифрой составляющих правой части уравнения.*

После этого в считанные минуты она получила три решения, соединенные в приведенной совокупности произведений стрелками:

$$1) x = 8, y = 12, z = 12;$$

$$2) x = 9, y = 8, z = 10;$$

$$3) x = 11, y = 11, z = 13.$$

В ответе к головоломке был только третий вариант решения, который можно получить, применив специальный прием:

уравнение с тремя неизвестными типа $mx + ny = kz$ решается для любых x, y и z в случае, если сумма коэффициентов при переменных слагаемых равна коэффициенту при z , т.е. $m + n = k$.

Тогда, приняв z равным сумме коэффициентов при x и y (т.е. $z = m + n$) и поменяв местами k и z , получим уравнение, справедливое при значениях $x = y = k$, т.е. в данном случае 11 (что соответствует третьему варианту решения).

Можно получить больше решений, если суммировать слагаемые, которые ближе к началу и нижнему пределу, и расширить область допустимых решений (например, еще три решения, приведенные пунктирной линией).

При этом правда следует иметь в виду, что при расширении области допустимых решений возрастает перебор вариантов (увеличение числа размещений с повторениями). Не нужно число столбцов произведений расширять до большого числа слагаемых. Область допустимых решений следует увеличивать постепенно, пока не будет получено последнее возможное решение. В приведенном примере произведение в первом и втором столбцах не должны выходить за рамки приня-

тых ограничений, т.е. 150. Поэтому вполне достаточно добавить еще три-четыре строки.

Для ускорения нахождения вариантов решения можно разработать автоматизированную процедуру, которую в настоящее время может написать практически каждый школьник¹.

Приведенный пример демонстрирует полезность привлечения *неформального*, интуитивного мышления при решении задач, которые не могут быть сразу решены *формальными*, математическими методами, и правильность упоминавшейся в гл. 1 гипотезы **Ж. Адамара** о необходимости переключения этих видов мышления (что условно можно представить рис. 4.4), которая и положена в основу метода *постепенной формализации процесса решения задачи*, т.е. в основу *искусства формализации*, как мы тогда называли этот подход.

Рассмотренный пример представляет собой процедуру постепенной формализации модели для решения уравнений с числом неизвестных больше, чем число уравнений.

На основе этого примера и ряда других был разработан обобщенный подход к постепенной формализации моделей принятия решений, излагаемый в параграфе 4.2.

Подход базируется на идее постепенной формализации модели постановки и решения задач (анализа проблемных ситуаций) путем поочередного использования средств из класса методов активизации использования интуиции и опыта специалистов и класса методов формализованного представления систем.

Этот подход возник как реализация подхода к моделированию самоорганизующихся (развивающихся) систем с большой начальной неопределенностью, рассмотренного в параграфе 1.4.

В общем виде идея подхода формулируется следующим образом:

- 1) разрабатывается (выбирается) знаковая система, с помощью которой фиксируют известные на данный момент компоненты и связи между ними;

**Основные положения
подхода, базирующегося
на постепенной
формализации моделей
принятия решений**

¹ Такую диалоговую процедуру средствами языка ТУРБО-ПАСКАЛЬ 7.0 в 1996 г. ученик 8-го класса Алеша Леонов написал за полчаса.

Активизация интуитивного мышления
(подсказки человеку)

Формальные методы
(экран дисплея)

Формулировка задачи:

«В столовую вошла группа посетителей, которые вначале сели за несколько столов по 6 и по 7 человек; а затем разместились поровну, по 11 человек, заняв z столов; Определить, сколько посетителей вошло в столовую, если их было больше 100 и меньше 150»

$$6x + 7y = 11z$$

$$100 < 11z < 150$$

Не решается!?

«А ты попытайся применить то, что знаешь. Таблицу умножения, например»

$6x$	$+$	$7y$	$=$	$11z$
$6 \times 1 = 6$		$7 \times 1 = 7$		$11 \times 1 = 11$
$6 \times 2 = 12$		$7 \times 2 = 14$		$11 \times 2 = 22$
$6 \times 3 = 18$		$7 \times 3 = 21$		$11 \times 3 = 33$
$6 \times 4 = 24$		$7 \times 4 = 28$		$11 \times 4 = 44$
$6 \times 5 = 30$		$7 \times 5 = 35$		$11 \times 5 = 55$
$6 \times 6 = 36$		$7 \times 6 = 42$		$11 \times 6 = 66$
$6 \times 7 = 42$		$7 \times 7 = 49$		$11 \times 7 = 77$
		...		
$6 \times 13 = 78$		$7 \times 13 = 91$		$11 \times 13 = 143$
		...		

Много!?

«Не увлекайся перечислением! Вспомни о формулировке задачи и об ограничениях»

$$100 < 11z < 150$$

$6 \times 8 = 68$	$7 \times 8 = 56$	$11 \times 8 = 88$
$6 \times 9 = 54$	$7 \times 9 = 63$	$11 \times 9 = 99$
$6 \times 10 = 60$	$7 \times 10 = 70$	$11 \times 10 = 110$
$6 \times 11 = 66$	$7 \times 11 = 77$	$11 \times 11 = 121$
$6 \times 12 = 72$	$7 \times 12 = 84$	$11 \times 12 = 132$
$6 \times 13 = 78$	$7 \times 13 = 91$	$11 \times 13 = 143$

Сократить бы перебор еще!

«Проверяй вначале суммы последних цифр слагаемых на совпадение с последней цифрой составляющих правой части уравнения»

$x = 8,$	$y = 12,$	$z = 12;$
$x = 9,$	$y = 8,$	$z = 10;$
$x = 11,$	$y = 11,$	$z = 13$
	...	

Рис. 4.4

- 2) затем путем преобразования полученного отображения с помощью установленных (принятых) правил (правил *структуризации*, или *декомпозиции*, правил *композиции*, поиска *мер близости* на пространстве состояний) получают новые, неизвестные ранее компоненты, взаимоотношения, зависимости, которые могут либо послужить основой для принятия решений, либо подсказать последующие шаги на пути подготовки решения;
- 3) полученные новые компоненты включаются в исходное множество, и процедура повторяется.

При этом возможно несколько итераций и методы отображения модели могут меняться по мере развития у лиц, принимающих решения, представлений об объекте и проблемной ситуации в направлении все большей формализации модели принятия решений.

В процессе реализации этой идеи можно накапливать информацию об объекте, фиксируя при этом все новые компоненты и связи (правила взаимодействия компонент), и, применяя их, постепенно создавать все более адекватную модель реального, изучаемого или создаваемого объекта. При этом информация может поступать от специалистов различных областей знаний и накапливаться во времени по мере ее возникновения в процессе познания объекта или проблемной ситуации.

Адекватность модели при таком подходе доказывается последовательно, по мере ее формирования, путем оценки правильности отражения на каждом последующем шаге компонентов и связей, необходимых для достижения поставленных целей.

Такое моделирование становится своеобразным «механизмом» развития представлений о задаче (проблемной ситуации), практическая реализация которого может быть различной:

- в форме естественного языка, помогающего уточнять описания задачи и обосновывать выбор методов моделирования;
- в форме теоретико-множественной записи постановки задачи с последующим уточнением выбора методов ее решения;
- в форме разработки специального языка моделирования, в основу которого может быть положен один из методов дискретной математики (например, математическая логика, математическая лингвистика);

- с использованием одного из специальных методов моделирования систем (структурно-лингвистического, морфологического моделирования, информационного подхода и т.д.), по мере развития модели методы могут меняться в направлении возрастания формализации.

Излагаемый подход к постепенной формализации модели принятия решения представляет собой своего рода методику системного анализа, которая сочетает интуицию и опыт ЛПР (с помощью применения методов из класса МАИС), и формальные, знаковые представления, позволяющие привлекать достижения математических теорий и моделей (из класса МФПС) и применять ЭВМ.

Принципиальной особенностью модели постепенной формализации является то, что она ориентирована на развитие представлений исследователя об объекте или процессе принятия решения, на постепенное «выращивание» решения задачи. Поэтому, как правило, предусматривается не одноразовый выбор методов моделирования, а смена методов по мере развития у лиц, принимающих решения, представлений об объекте и проблемной ситуации в направлении все большей формализации модели принятия решений.

Первоначально подход был предложен на базе концепции *структурно-лингвистического моделирования*, но в последующем стал развиваться как самостоятельное направление.

Можно рекомендовать некоторые основные этапы реализации подхода, которые полезно учитывать при разработке конкретной методики. Основные из них приведены на рис. 4.5.

В зависимости от конкретной задачи этапы могут чередоваться, применяться параллельно, что отражается структурой конкретной методики моделирования.

Рассмотрим основные этапы реализации подхода более подробно.

1. Разрабатывается или выбирается знаковая система — исходный язык *моделирования*, с помощью которого осуществляется первоначальное отграничение системы от среды, «перечисление» системы.

Может использоваться естественный язык, средства теоретико-множественных, логических, лингвистических и других методов *дискретной математики*; или язык одного из специальных методов моделирования систем (имитационное динамическое моделирование, язык

ситуационного моделирования, морфологический подход и т.п.); по мере развития процесса постепенной формализации язык моделирования может изменяться.



Рис. 4.5

Разрабатывают (выбирают) язык моделирования лица, принимающего решение (ЛПР). При этом могут использоваться методы из группы МАИС, т.е. методы типа «мозговой атаки» (МА) или коллективной генерации идей (КГИ), на основе которых осуществляется выбор направления дискретной математики в качестве метода для разработки языка моделирования.

2. Выбирается подход к моделированию и вводятся следующие правила преобразования, применяемые при формировании и анализе модели:

- правила *структуризации*, или *декомпозиции* (подход «сверху»); при этом могут выбираться приемы, принципы и признаки структуризации, использоваться методики структуризации, рассматриваемые в гл. 5;

- правила *композиции*, поиска *мер близости* на пространстве состояний элементов (подход «снизу»), т.е. правила морфологического перебора, или правила из теории множеств, математической логики, математической лингвистики, а в случае конструкторских разработок — и из теории графов.

В зависимости от конкретной задачи подходы в последующем могут чередоваться, применяться параллельно, что отражается структурой методики моделирования.

3. С помощью языка моделирования фиксируются элементы и связи (правила взаимоотношений) между ними.

При выполнении этого этапа могут применяться правила отбора компонентов, введенные на основе теории множеств, т.е. правила вхождения в множество путем установления соответствия между названием множества и названием элементов. Однако такой подход требует введения подобных правил в язык моделирования. Например, введения и использования парадигматических отношений, формирования деревьев дескрипторов.

Поэтому на практике чаще применяются методы из группы МАИС, типа МА или КГИ. При этом не ставится задача полного «перечисления» системы, а фиксируются элементы, известные на данный момент, в результате чего формируется исходное множество элементов. В числе исходных элементов могут быть однородные, которые затем могут объединяться в группы (компоненты), или, напротив, в числе элементов могут быть понятия более общие, чем другие, тогда их следует расчленить на более детальные, сравнимые с остальными.

В числе правил могут быть простейшие типа «помещения рядом» (конкатенации, сцепления) или более сложные — типа «помещение над», «помещение под», «условное следование за» и т.д. Могут использоваться правила не только из методов дискретной математики, но и полученные на основе аналитических зависимостей, отображающих законы функционирования проектируемых устройств или технологические процессы их сборки.

Если система сложная, с разнородными элементами, то не следует стремиться включить в исходное множество все элементы и связи, нужно учитывать правило «не увлекайся перечислением».

4. Преобразование сформированного отображения с помощью введенных (принятых) правил и получение на этой основе новых, неизвестных ранее компонентов, взаимоотношений, зависимостей, структур.

При использовании языка моделирования, базирующегося на теоретико-множественных представлениях, на основе известной теоремы теории множеств: при применении правила «помещение рядом» элементов из разных множеств у компонентов нового множества («пар» при помещении рядом элементов из двух множеств, «троек» — при трех исходных множествах и т.д.) появляется новый смысл. Для обеспечения этого процесса перебора могут использоваться автоматизированные диалоговые процедуры, формирующие новые компоненты, которые отбирает или исключает ЛПР в диалоговом режиме.

Полученные новые компоненты могут либо послужить основой для принятия решений, либо подсказать последующие шаги на пути подготовки решения.

5. Включение полученных новых компонентов в первоначальное описание, и повторение процедуры преобразования с использованием ранее введенных или новых правил.

Решение о включении компонентов принимается исследователем, т.е. используется его интуиция и опыт. При этом для принятия решения могут применяться методы из группы МАИС (например, методы типа МА, КГИ или выявления мнений единичных экспертов).

Рассмотренную процедуру следует повторять до тех пор, пока не будет найдено удовлетворительное решение.

В процессе моделирования следует помнить о двух полюсах мышления и рекомендации Ж. Адамара: при возникновении затруднения в процессе формирования модели следует использовать переключение *образного* и *формального* видов мышления.

На каждом этапе могут быть использованы методы из классов МАИС и МФПС, и исследователю предоставляется право с учетом особенностей конкретной решаемой задачи выбирать способ формирования исходного множества элементов и связей, способ формирования новых компонент из исходных элементов и т.п.

При выборе дальнейшего пути уточнения модели необходимо не забывать возвращаться к системным представлениям и к цели исследования.

В процессе постепенной формализации можно накапливать информацию об объекте, фиксируя при этом все новые компоненты,

связи, правила взаимодействия компонент, и, применяя их, получать отображения последовательных состояний модели принятия решений, постепенно создавая все более адекватную модель реального, изучаемого или создаваемого объекта. Информация может поступать от специалистов различных областей знаний и накапливаться во времени по мере ее возникновения.

Таким образом, процесс постепенной формализации может стать обоснованием формальной модели с постепенным доказательством ее адекватности на каждом витке моделирования. Моделирование становится как бы «механизмом» развития системы, «выращивания» решения задачи. По мере развития модели методы могут меняться. На определенном этапе можно ввести количественные оценки, и в результате в ряде случаев может быть получена формальная модель. При этом реализуется идея отображения проблемной ситуации в виде развивающейся модели, и ход решения направляется с помощью некоторых рекомендаций типа *«используй то, что знаешь»*, *«не увлекайся перечислением»*, *«не забывай возвращаться к формулировке задачи»* и т.п.

Получив подсказки, ЛПР легко усваивают идею постепенной формализации и начинают сами предлагать приемы сокращения перебора и «выращивания» решения задачи.

Пример реализации подхода для моделирования производственных ситуаций приведен в параграфе 4.4. Аналогично можно представить модель постепенной формализации и в форме морфологического моделирования (см. параграф 4.5).

Еще более интересные результаты получены при использовании идеи постепенной формализации путем целенаправленной смены методов из групп МАИС и МФПС в процессе постановки и решения задачи. Например, такая модель была разработана в 1973 г. [21] (см. параграф 4.3).

Идея постепенной формализации задачи может быть реализована в форме *языка автоматизации моделирования*. Такие языки могут разрабатываться для систем автоматизации проектирования сложных технических изделий и комплексов; моделирования последовательности прохождения документов (организационно-технологических процедур) при подготовке и реализации управленческих решений, при разработке производственных и организационных структур предприятий, выборе структуры обеспечивающей части (ОЧ) автоматизированной информационной системы. Пример приведен в гл. 9.

4.2. Постепенная формализация в задачах моделирования процессов прохождения информации в системах управления

Для того чтобы пояснить развитие модели постепенной формализации, рассмотрим конкретный пример моделирования автоматизированной информационной системы сбора и первичной обработки информации как первой очереди ОАСУ, для которой впервые был применен рассматриваемый подход.

Задача первоначально была поставлена Всесоюзным научно-исследовательским и проектным институтом отраслевых автоматизированных систем управления (ВНИПИОАСУ) как задача диспетчеризации при сборе информации от предприятий из разных городов в период принятой в то время квартальной отчетности перед отраслевым министерством. При этом предварительно заказчиком рассматривалось два основных варианта: 1) создание единого Главного информационно-вычислительного центра (ГИВЦ) отрасли и организация централизованного сбора данных от всех предприятий посредством установленных на них периферийных средств сбора информации (A_1, A_2, \dots, A_k); 2) наряду с ГИВЦ и периферийными средствами сбора информации на предприятиях, создать региональные информационно-вычислительные центры (ИВЦ), (обозначенные на рис. 4.6 ИВЦ₁, ИВЦ₂, ..., ИВЦ_n), которые будут расположены в городах.

Необходимо было выбрать вариант и определить вычислительную мощность ГИВЦ и региональных ИВЦ (в случае выбора второго варианта), типы ЭВМ для них, типы периферийных средств регистрации информации, объемы информационных массивов в ГИВЦ и ИВЦ, формы документов D_1, D_2, \dots, D_m сбора и передачи информации между пунктами, принятыми в соответствующем варианте. При этом в случае выбора первого варианта возникали проблемы диспетчеризации приема-передачи информации от достаточно многочисленных пунктов первичного сбора информации на предприятиях.

Аналогично может быть поставлена задача для объединения, предприятия которых расположены в разных городах, или для предприятия, крупные производства которых расположены в разных корпусах.

Для ответа на требуемые вопросы и выбора структуры сбора и первичной обработки информации необходимо исследовать информационные потоки. Можно было бы попытаться получить статистические характеристики потоков и принять ориентировочные решения о выборе технических средств, структуре информационных массивов и т.д. Однако получить требуемые статистические характеристики сложно, а для вновь разрабатываемых информационных систем невозможно.

Для решения этой задачи автором данной главы [21, 25] была предложена методика постепенной формализации задачи моделирования процессов прохождения информации в системе управления на основе смены методов по мере развития модели. Эта методика иллюстрируется на примере, приведенном на рис. 4.6, на котором показаны последовательные переходы от методов работы с ЛПР (из группы МАИС) к методам формализованного представления и обратно.

В рассматриваемом примере учитываются только функции сбора, предварительной обработки информации и формирования первичных информационных массивов, и предполагается, что первоначально ничего неизвестно, кроме назначения системы.

Этапы формирования модели

Формирование модели, отображающей возможные варианты прохождения информации в АИС, можно осуществ-

ить путем выполнения следующих этапов (рис. 4.6).

- 1. Отграничение системы от среды («перечисление» элементов системы).** Задачу «перечисления» можно представить на языке теоретико-множественных методов как переход от названия характеристического свойства, отраженного в названии формируемой системы (в данном случае ОАСУ для конкретной отрасли), к перечислению элементов, которые отвечают этому свойству и могут быть включены в множество.

На рис. 4.6 перечислено для примера небольшое число исходных элементов: ГИВЦ, ИВЦ1, ИВЦ2, ..., А1, А2, ... — пункты сбора и обработки информации; Д1, Д2, ... — формы сбора и представления информации (документы, массивы); ЭВМ, ТТ (телетайп), Т (телефон) и т.д. Понятно, что в реальных условиях конкретных видов подобных элементов существенно больше, и они будут названы более конкретно — не ЭВМ, а тип

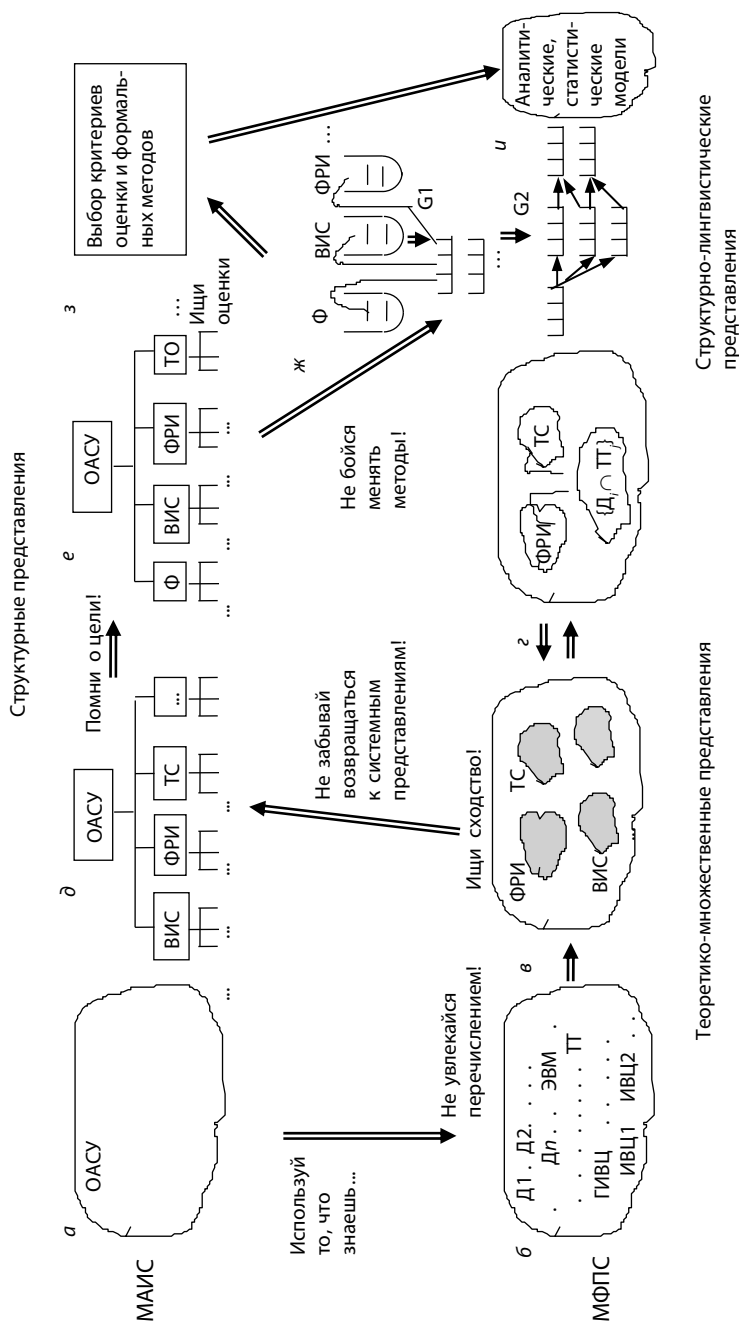


Рис. 4.6

ЭВМ; аналогично — тип ТТ, регистраторов производства (РП), наименование или код документов и массивов и т.д.

«Перечисление» может выполняться с применением метода «мозговой атаки», а в реальных условиях — методов типа комиссий, семинаров и других форм выработки коллективных решений (см. параграф 4.1), в результате чего определяется некоторый перечень элементов будущей системы.

2. Объединение элементов в группы. Сложную реальную развивающуюся систему невозможно «перечислить» полностью. Следует, набрав некоторое множество элементов, попытаться объединить их в группы, найти меры сходства, «близости» и предложить способ их объединения.

Если в качестве метода формализованного отображения совокупности элементов выбраны теоретико-множественные представления, то этот подэтап можно трактовать как образование из элементов исходного множества некоторых подмножеств путем перехода от перечисления сходных по какому-то признаку элементов к названию характеристического свойства этого подмножества.

В результате в приводимом примере могут быть образованы подмножества элементов, которые вначале были названы: «форма реализации информации (ФРИ)», «технические средства (ТС)», «вид информационной службы (ВИС)», «исполнители, операторы (О)» и т.д. (см. рис. 4.6, в), а в последующем — соответствующими видами обеспечения: информационное, техническое, организационное обеспечение — ИО, ТО, ОргО соответственно.

3. Формирование из элементов подмножеств новых множеств, состоящих из «пар», «троек», «n-ок» элементов исходных подмножеств. В рассматриваемом примере, объединяя элементы подмножеств ФИС, ФРИ, ТС и т.д. в «пары» и «тройки», получим новые компоненты.

Пример

Получим: Д1_ЭВМ, Д1_ТТ, Д2_ЭВМ и т.п.; ЭВМ_ГИВЦ, ЭВМ_ИВЦ1, ЭВМ_А1, ТТ_ГИВЦ, ТТ_ИВЦ1, ТТ_А1 и т.п.; Д1_ЭВМ_ГИВЦ, Д1_ТТ_А1 и т.д.

Интерпретация получаемых компонентов затруднена, и ввести какое-либо формальное правило сравнения элементов новых множеств,

которое помогло бы принять решение о выборе наилучших вариантов, не удастся.

В таких случаях, согласно рассматриваемому подходу, нужно вернуться к системно-структурным представлениям и попытаться поискать дальнейший путь развития модели.

4. Содержательный анализ полученных результатов и поиск новых путей развития модели. Для проведения содержательного анализа следует вернуться к системным представлениям и использовать один из методов группы МАИС — структуризацию (в данном случае в форме иерархической структуры — рис. 4.6, д).

Такое представление более удобно для лиц, принимающих решение (руководителей работ по созданию ОАСУ), чем теоретико-множественные представления, и помогает им вначале распределить работу между соответствующими специалистами, а затем найти дальнейший путь развития модели на основе содержательного анализа сути полученных «пар» и «троек» с точки зрения формулировки решаемой задачи.

Поскольку любая задача представляет собой последовательность действий (функций) по сбору, хранению и первичной обработке информации, то становится очевидной необходимость внесения в модель нового подмножества «Функции-операции (Ф)», добавление элементов которого к прежним «парам» и «тройкам» позволяет получить новое их осмысление. Для простоты на рис. 4.6 показаны только принципиально отличающиеся друг от друга функции — связи *С*, хранения *М* (от «*теготу*» — память) и обработки *К* (от слова «компьютер»), т.е. «ген» информационной системы, рассмотренный в параграфе 4.1.

После их добавления получают комбинации, которые ЛПР могут не только сравнивать, но и оценивать. Например, комбинации типа *С_Д1_ТТ*, *С_Д1_Т* отличаются друг от друга скоростью передачи информации, которую в конкретных условиях можно измерить или вычислить.

5. Разработка языка моделирования. После того, как найдено недостающее подмножество, в принципе можно было бы продолжить дальнейшее формирование модели, пользуясь теоретико-множественными представлениями. Однако когда осознана необходимость формирования последовательностей функций-операций, конкретизированных путем дополнения их видами обеспечения — конкретизированных

функций (КФ), то целесообразнее выбрать *лингвистические* или данной модели *семиотические представления*, которые удобнее для разработки языка моделирования последовательностей КФ.

Для пояснения принципов разработки языка моделирования приведем более детализированное представление этапов (рис. 4.7).

Принципы разработки языка моделирования можно представить следующим образом:

- разработка тезауруса языка моделирования;
- разработка грамматики (или нескольких грамматик, что зависит от числа уровней модели и различия правил).

В рассматриваемом примере использовано сочетание лингвистических, семиотических и графических представлений и разработан язык *графо-семиотического моделирования*, который в первоначальных вариантах использования рассматриваемого подхода иногда носил и другие названия — *структурно-лингвистического*, *сигнатурного* (знакового) моделирования.

Структура тезауруса языка моделирования, приведенная на рис. 4.7, 2, включает три уровня:

- уровень первичных терминов (или слов), которые представлены в виде списков, состоящих из элементов $\{e_i\}$ подмножеств Ф, ВИС, ФРИ, ТС;
- уровень фраз $\{f_j\}$, который в этом конкретном языке можно назвать уровнем конкретизированных функций (КФ), так как абстрактные функции *С, М, К*, объединяясь с элементами подмножеств ВИС, ФРИ, ТС, конкретизируются применительно к моделируемому процессу;
- уровень предложений $\{p_k\}$, отображающий варианты прохождения информации в исследуемой системе.

Грамматика языка включает правила двух видов:

- преобразования элементов $\{e_i\}$ первого уровня тезауруса в компоненты $\{f_j\}$ второго уровня, которые имеют характер правил типа «помещения рядом» (конкатенации, сцепления) R_I ;
- преобразования компонентов $\{f_j\}$ в предложения $\{p_k\}$ — правила типа «условного следования за» R_{II} ; правила этого вида исключают из рассмотрения недопустимые варианты следования информации: например, после функции *С1_Д2_А1—ИВЦ1_ТТ* (передача документа Д2 из А1 в ИВЦ1 с помощью ТТ) не может следовать функция *М1_Д2_ГИВЦ_МН*, так как в результате выполнения предшествующей функции документ Д2 в ГИВЦ не поступил (здесь МН — машинный носитель).

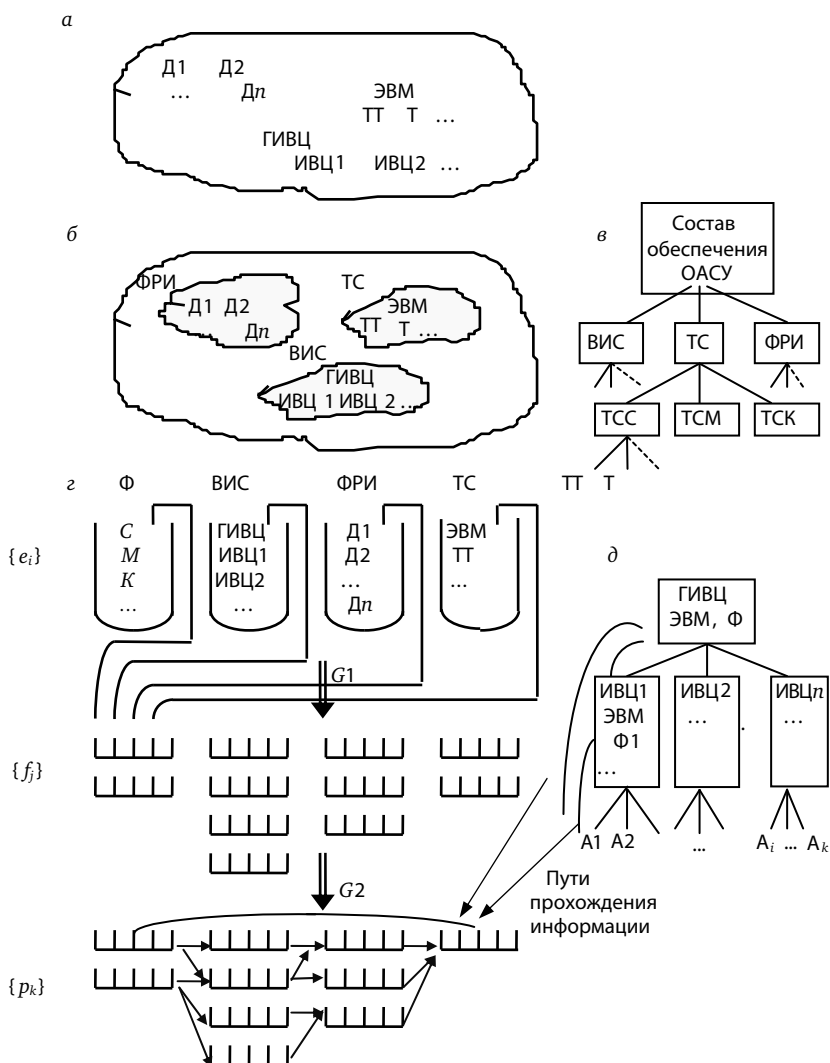


Рис. 4.7

В результате проведенных преобразований структура рис. 4.7, в, отображающая состав обеспечивающей части ОАСУ, преобразуется в структуру (рис. 4.7, д), отображающую пути следования информации.

Словарь первичных терминов языка графо-семиотического моделирования, количество уровней в нем и правила грамматики определяются результатами предшествующего развития модели.

Таким образом, с помощью языка моделирования разрабатывается многоуровневая модель.

В нашем примере — двухуровневая, если считать уровень исходных множеств нулевым ($\{e_i\}$ на рис. 4.6, ж и 4.7, з). Осмысление этой модели (на уровне МАИС) приводит к преобразованию структуры, первоначально формировавшейся как *структура-состав*, в которой были представлены виды обеспечения ОАСУ и их детализация (рис. 4.7, в) в *структуру функционирования*, отображающую варианты структуры информационных потоков (рис. 4.7, д).

6. Оценка и анализ вариантов информационных потоков. После формирования вариантов следования информации необходимо их оценить. Для этого могут быть приняты также разные варианты — от содержательной оценки путем сбора и первичной обработки информации (нижний уровень, рис. 4.6, ж и 4.7, з) до поиска алгоритмов последовательного преобразования оценок компонентов предшествующих уровней модели в оценки компонентов последующих уровней, что осуществляется путем анализа сформированной графо-семиотической модели.

Варианты оценки модели иллюстрируются рис. 4.8.

В рассматриваемом примере можно проводить оценку тремя способами:

- а) на уровне вариантов прохождения информации $\{p_k\}$, что иногда могут сделать компетентные специалисты путем коллективного обсуждения предложенных им вариантов (если число этих вариантов не очень велико — не более 7 ± 2);
- б) на уровне конкретизированных функций (КФ) $\{f_j\}$ с последующим преобразованием этих оценок $W'\{f_j\}$ в оценки вариантов $W''\{p_k\}$;
- в) на уровне элементов $\{e_i\}$ с последующим преобразованием оценок $W\{e_i\}$ в оценки $W'\{f_j\}$, а их — в оценки $W''\{p_k\}$.

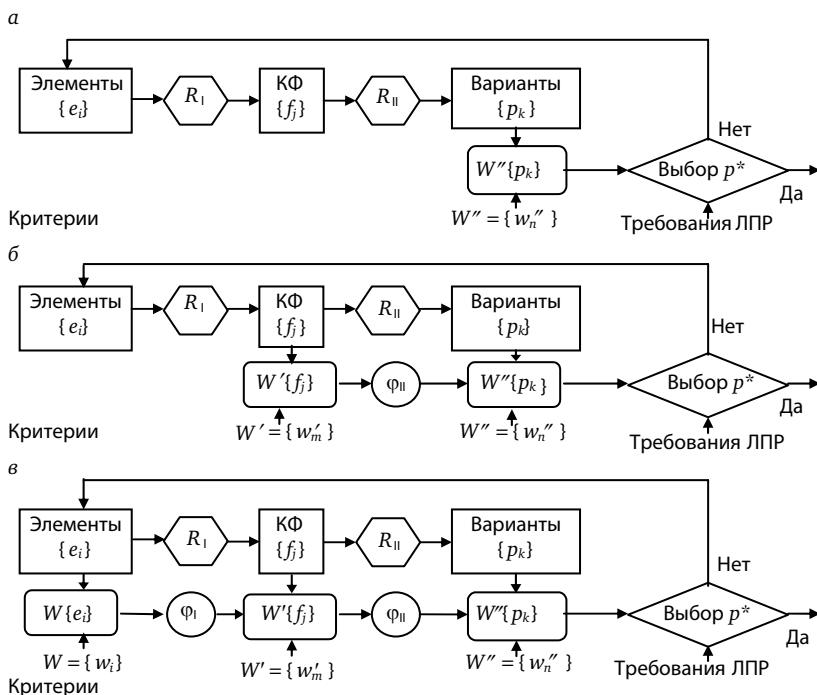


Рис. 4.8

При втором способе можно выделить на модели «сферы компетентности» и поручить оценку КФ по сферам соответствующим специалистам; оценки КФ в большинстве случаев также получают экспертно, однако в некоторых случаях они могут быть измерены; этот способ подобен оценке сетевой модели, и при определении алгоритма преобразования оценок Φ_{II} можно использовать опыт сетевого моделирования (для большинства критериев оценки алгоритм преобразования — суммирование, а для критерия надежности передачи или хранения информации, оцениваемых с помощью вероятностей, алгоритм более сложный).

При третьем способе алгоритмы преобразования Φ_I могут быть найдены путем анализа различных КФ с точки зрения влияния на их оценку по тому или иному критерию элементов соответствующего вида. Например, оценка КФ передачи информации по критерию времени t может быть получена на основе выяснения, что в структуре КФ влияет на

оценку по t . Если используются технические средства связи, то, зная принципы передачи информации, с их помощью можно определить v_{TC} и зависимости $t = r_d / v_{TC}$, где r_d — объем передаваемой информации (например, измеряемый числом знаков), т.е. оценка элементов, принадлежащих подмножеству ФРИ; v_{TC} — скорость передачи информации с помощью соответствующего технического средства, т.е. оценка элемента, принадлежащего подмножеству ТС. Таким образом, в данном примере на оценки КФ «С...» влияют элементы подмножеств ФРИ и ТС, и следует предусмотреть их оценку в исходных списках элементов. Аналогично можно определить, какие из элементов влияют на оценки КФ по стоимости, надежности, срокам внедрения и другим учитываемым критериям оценки.

Выбор способа оценки модели зависит от вида графо-семиотической модели, а алгоритмы преобразования оценок ϕ_I и ϕ_{II} определяются на основе анализа этой модели. Выбор критериев оценки зависит от выбранного способа оценки модели.

Например, при первых двух способах оценки (на уровне $\{p_i\}$ и на уровне $\{f_j\}$), могут быть приняты такие оценки, как оперативность (время), достоверность (вероятность сбоя при передаче информации, ошибок при ее обработке и т.п.), трудоемкость, затраты на внедрение, эксплуатационные расходы, сроки внедрения и т.д., а при оценке модели на уровне элементов $\{e_i\}$ — оценки типа r_d , v_{TC} и т.п., на основе которых могут быть вычислены оценки КФ, или оценки трудоемкости, скорости заполнения форм или ввода информации и т.п.

Способ оценки модели на уровне вариантов $\{p_k\}$ — экспертный; на уровне $\{f_j\}$ для экспертного оценивания могут быть выделены сферы компетентности и привлечены соответствующие специалисты, знающие особенности конкретных технических средств и т.п.; и кроме того, наряду с экспертным оцениванием могут быть проведены эксперименты по той или иной КФ.

Оценки элементов $\{e_i\}$, необходимые для вычисления оценок соответствующих КФ, могут быть в большинстве случаев получены из справочной литературы или измерены.

Рассматриваемую многоуровневую модель в обобщенном виде можно представить в виде аналитических зависимостей.

Например, для варианта оценок, приведенного на рис. 4.8, α :

$$\begin{aligned}
 W^{n*}(p_{jn}) &= \text{opt } W^n(p_{jn}), \quad p_{jn} \in P_n, \quad P_n \subset S_I; \\
 W^n(p_{jn-1}) &= \varphi^n\{W^{n-1}(p_{jn-1})\}, \quad p_{jn-1} \in P_{n-1}, \quad P_{n-1} \subset S_I; \\
 &\dots \\
 W^k(p_{jk}) &= \varphi^k\{W^{k-1}(p_{jk-1})\}, \quad p_{jk} \in P_k, \quad P_k \subset S_I, \quad p_{k-1} \in P_{k-1}, \quad P_{k-1} \subset S_I; \\
 &\dots \\
 W^1(p_{j1}) &= \varphi^1\{W(e_{i1})\}, \quad p_{j1} \in P_1, \quad P_1 \subset S_I, \quad e_i \in E, \quad E \subset S_I.
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Для варианта, приведенного на рис. 4.8, в:

$$\begin{aligned}
 W^{n*}(p_{jn}) &= \text{opt } W^n(p_{jn}), \quad p_{jn} \in P_n, \quad P_n \subset S_I; \\
 P_{jn} &= \bigcup_{jn-1=1} P_{jn-1}, \quad p_{jn-1} \in P_{n-1}, \quad P_{n-1} \subset S_I; \\
 &\dots \\
 P_{jk} &= \bigcup_{jk-1=1}^l p_{jk-1}, \quad p_{jk} \in P_k, \quad P_k \subset S_I, \quad p_{jk-1} \in P_{k-1}, \quad P_{k-1} \subset S_I; \\
 &\dots \\
 P_{j1} &= \bigcup_{i=1}^r e_i, \quad p_{j1} \in P_1, \quad P_1 \subset S_I, \quad e_i \in E, \quad E \subset S_I.
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

Знаком \bigcup обозначено любое взаимодействие компонент «условное следование за», сложное взаимодействие или просто «помещение рядом»; $W^n(p_{jn})$ функционал, связывающий критерии оценки выбираемого решения с компонентами p_{jn} , которые зависят от компонентов предыдущего уровня p_{jn-1} ; в общем случае p_{jk} зависят от компонентов p_{jk-1} ; $E, P_1, \dots, P_k, \dots, P_{n-1}, \dots, P_n$ — множества смысловыражающих элементов (тезаурус) задачи; $W(e_i)$, $W^1(e_{j1})$, $W^k(p_{jk})$, $W^n(p_{jn})$ — критериальные отображения элементов (компонентов) структурных уровней тезауруса языка моделирования; φ^I , φ^k , φ^n — алгоритмы преобразования критериальных отображений одного структурного уровня в другой; S_I — совокупность компонентов всех уровней.

В результате получается система алгоритмов, обеспечивающая возможность автоматизации и соответственно повторяемость процесса формирования и анализа модели при изменении наборов первичных элементов и их оценок.

Эта система алгоритмов обеспечивает взаимосвязь между компонентами и целями системы (при моделировании потоков информации по отдельным задачам — между компонентами и требованиями этой задачи). В результате получается формальная, аналитическая модель, только представленная не в виде привычных для такого рода моделей формул или уравнений, а в виде алгоритмов в памяти ЭВМ.

Однако получить такую сложную систему алгоритмов, позволяющую формализовано отобразить конкретную ситуацию и выбрать лучшее решение, практически невозможно без организации направленной постепенной формализации процесса принятия решения.

Таким образом, на основе рассматриваемого подхода можно поставить задачу последовательного формирования с помощью графо-семиотического языка моделирования вариантов прохождения информации и выбора из них наилучшего путем постепенного ограничения области допустимых решений. Эта процедура проводится так: вначале исключить все p_k , которые не удовлетворяют граничным значениям учитываемых критериев, затем предложить рассмотреть оставшиеся варианты ЛПР, которые могут позволить либо сразу выбрать из них наиболее предпочтительный, либо ввести весовые коэффициенты критериев, либо исследовать область допустимых решений по методу Парето¹.

Можно также добавить новые критерии качественного характера, не включенные первоначально из-за невозможности их количественной оценки.

Адекватность моделей доказывается последовательно (по мере формирования обобщенной модели) путем оценки правильности отражения в каждой последующей модели компонентов и связей, необходимых для достижения поставленной цели и решения реализующих ее задач.

¹ С понятием об области допустимых решений по Парето можно познакомиться в учебном пособии : Ногин, В. Д. Основы теории оптимизации : учеб. пособие / В. Д. Ногин, И. О. Протодяконов, И. И. Евлампиев. — М. : Высшая школа, 1986.

После того как для какого-то класса задач пройдены все этапы постепенной формализации и найдены основы языка моделирования, можно применять не всю методику, а сразу начинать с подэтапа, представленного на рис. 4.6, ж. Однако в случае, когда нужно поставить задачу для принципиально нового объекта или процесса, полезно при обосновании модели выполнять все подэтапы постепенной формализации задачи, что позволит обосновать адекватность модели и принципы разработки языка автоматизации моделирования и алгоритма оценки модели.

При этом, проходя этапы постепенной формализации, полезно учитывать рекомендации типа *«используй то, что знаешь»*, *«не увлекайся перечислением»*, *«не забывай возвращаться к системным представлениям»*, *«помни о цели»*, *«не бойся менять методы»* и т.п. (что иллюстрирует рис. 4.6).

Для пояснения полезности метода постепенной формализации приведем результат, полученный при решении рассмотренной задачи.

После моделирования вариантов прохождения информации и оценки вариантов с использованием алгоритма, приведенного на рис. 4.8, в, был получен неожиданный результат: вариант структуры информационной сети для сбора и предварительной обработки информации с размещением в территориальных центрах вычислительных машин и аналогичный вариант с телетайпами по времени на сбор информации отличаются всего на 0,5 часа (8,5 и 9 часов!). При этом второй вариант существенно (на порядок) дешевле. Речь идет о 1970-х гг., когда еще не было персональных ЭВМ, а большие ЭВМ (в тот период типа Минск-32, Минск-22) были весьма дорогостоящими.

К тому времени во ВНИПИОАСУ, который был заказчиком задачи, уже была начата разработка технического проекта с первым вариантом (гораздо более дорогостоящим по сравнению со вторым), поскольку на основе «здравого смысла» само собой предполагалось, что этот проект позволит чуть ли не на порядок быстрее собирать информацию в период квартальной или годовой отчетности.

Неожиданный результат, разрушающий представления «здравого смысла», был получен благодаря разработке методики автоматизации моделирования и распределения работы между исполнителями следующим

образом: разработкой моделей занимался студент Р. Купер, а обрабатывала результаты оценки модели студентка Л. Яснова. Купер был американцем наполовину, мыслил нетрадиционно и не стал исключать из средств предварительной обработки информации телетайп! Яснова провела добросовестный беспристрастный анализ, не вникая в содержательный смысл вариантов, чтобы это не влияло на результаты.

После дополнительного анализа информационных потоков по наиболее объемным задачам «вручную» выяснилось, что приведенный неожиданный результат был получен потому, что информация от предприятий, расположенных в одном городе, которую казалось бы можно было укрупнить, обработав на территориальном ВЦ, нужна для принятия решений разным главным управлениям (так называемым Главкам) отраслевого министерства, и поэтому обобщать эту информацию не только на уровне города, но даже и на уровне предприятия нельзя, а для ускорения передачи этой информации вполне достаточно ее предварительного накопления в телетайпе, который в режиме считывания работает быстрее, чем в режиме набивки.

Во ВНИПИОАСУ конечно же проект не стали переделывать, но в последующем стали разрабатывать вместо телетайпов регистраторы информации о состоянии производства с предварительным накоплением информации. Главным же результатом был тот факт, что разработанная и примененная методика системного обследования информационных потоков и принятия предпроектного решения по выбору структуры системы сбора и первичной обработки информации помогла получить нетривиальный вариант решения.

Для удобства применения рассмотренного подхода на практике приведенную последовательность действий (методику) принято представлять в виде блок-схемы (пример методики приведен на рис. 4.9).

Разрабатывая методику для практического использования, наименования этапов можно изменять с учетом конкретных условий ее применения. На рис. 4.9 приведены наименования подходов и методов, применявшихся при решении задачи для ВНИПИОАСУ.

Аналогично рассмотренной задаче можно поставить задачи формирования структуры, обеспечивающей части автоматизированной системы, моделирования организационно-технологических процедур подготовки и реализации управленческих решений на действующем предприятии (см. гл. 9).

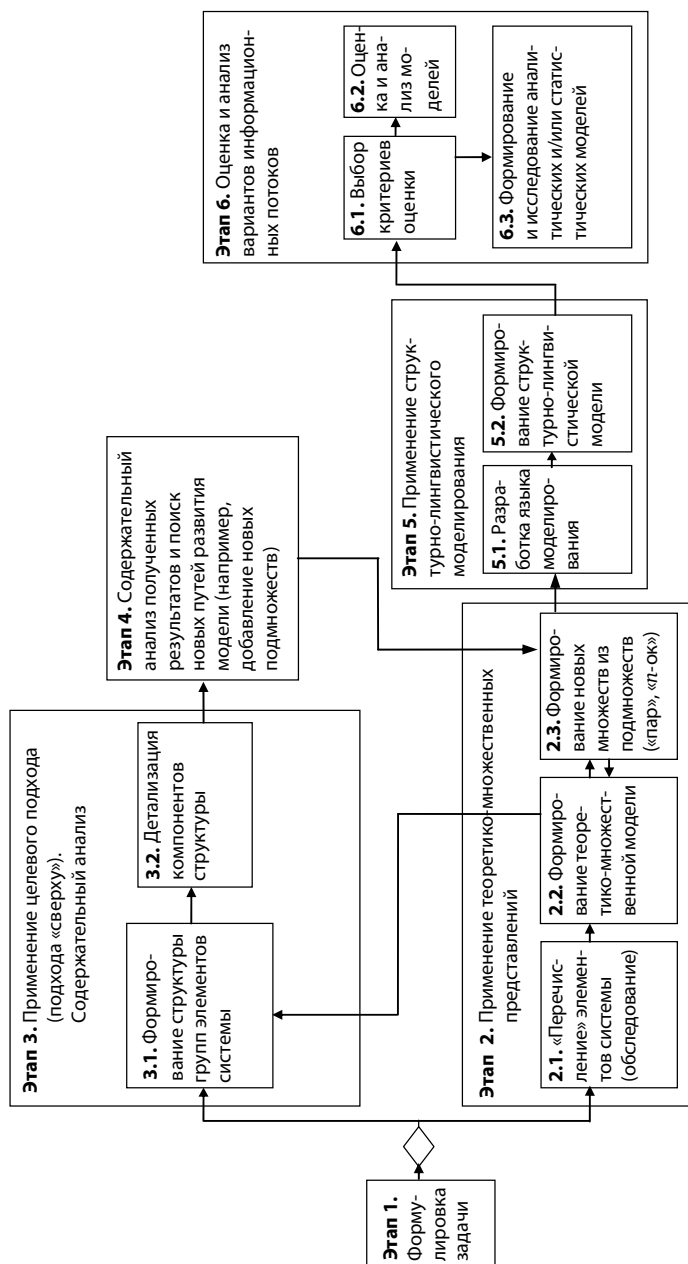


Рис. 4.9

4.3. Модели постепенной формализации принятия решений при организации технологических процессов производства

Во многих практических ситуациях планирования и управления технологическими процессами сразу не удастся найти подходящий метод формализованного представления, который позволяет решить задачу, или же, предложив формальную модель, не удастся доказать ее адекватность отображаемой ситуации. В этих случаях можно попытаться получить модель и доказать соответствие ее реальной действительности путем организации процесса постепенной формализации принятия решения, т.е. на основе пошагового уточнения постановки задачи обосновывать адекватность модели, и в результате — получать ответы на поставленные в задаче вопросы.

Необходимость в таком подходе может возникнуть в тех случаях, когда после описания ситуации принятия решения в виде системы алгебраических уравнений решение не может быть получено математическим путем. Например, если *число неизвестных больше, чем число уравнений*. Такая задача была рассмотрена при пояснении идеи постепенной формализации на примере элементарного эксперимента. Но такие ситуации возможны и в реальных условиях организации производства.

Так, в случае принятия решения о замене двух (или более) видов монтажных столов, оборудованных для выполнения соответствующих работ (например, один вид — для сборки, другой — для пайки и т.п.) на более универсальные рабочие места, которые позволяют выполнять несколько — два и более типов операций. Или, — в случае выбора оборудования для участка: например, можно оборудовать участок станками или автоматическими линиями двух, трех или более типов, а можно оборудовать участок универсальными, переналаживаемыми станками с ЧПУ или гибкими, перестраиваемыми автоматическими линиями, которые способны выполнять все требуемые операции, необходимые на этом участке.

При условии, что известны средние производительности станков (линий) всех видов (с учетом переналадки универсальных) и ориентировочные объемы выпускаемой участком продукции, можно описать равноценные друг другу ситуации уравнениями типа

$$mx + ny = kz ;$$

$$mx + ny + lq = kz \quad (4.4)$$

и т.п.

с ограничением $Q_1 < kz < Q_2$,

где x, y, q, z — число станков (линий) различных видов; m, n, l, k — значения их производительности (которые предполагаются известными); Q_1, Q_2 — нижняя и верхняя границы объемов выпуска продукции.

В системе уравнений (4.4) число неизвестных больше, чем число уравнений, и следовательно, математически решить задачу не представляется возможным. Поэтому можно попытаться применить подход, изложенный в параграфе 4.2, и, сформировав таблицу из столбцов mx , ny , lq и kz , организовать процедуру постепенного ограничения и расширения области допустимых решений при изменении x, y, q, z .

С помощью такой процедуры (которую несложно реализовать с использованием ЭВМ), можно решать практические вопросы типа:

- какой из вариантов оборудования потребует меньшего числа станков или линий (и соответственно меньше производственных площадей),
- целесообразно ли заменять имеющееся оборудование, способное отдельно выполнять необходимые операции, на универсальное, переналаживаемое с учетом объемов выпускаемой продукции (Q_1 и Q_2) и других характеристик конкретного производства (трудоемкости, частоты обновления продукции и т.п.), которые можно отразить в коэффициентах уравнений.

На основе исследования уравнений типа (4.4) можно получить и некоторые общие рекомендации.

Например, если средняя производительность универсального оборудования k намного выше производительностей m и n специализированного оборудования, то практически все варианты решения будут получаться в пользу универсального оборудования. Однако легко проверить, что не только при $k < m$ и $k < n$, но

и при сравнимых производительностях результат может получиться и обратный в зависимости от объемов выпускаемой продукции.

В рассматриваемом примере использована идея отображения проблемной ситуации в виде развивающейся системы, лежащая в основе постепенной формализации задач и ход решения которых направлялся с помощью некоторых рекомендаций.

Идею постепенной формализации можно представить и с использованием одного из методов морфологического моделирования **Ф. Цвики** — метода морфологического ящика (см. параграф 4.4).

4.4. Модели постепенной формализации принятия плановых решений на основе морфологического подхода¹

Особенности объемно-календарного планирования при позаказной системе производства. При принятии плановых решений, таких как распределение годовой производственной программы предприятия по плановым периодам (кварталам, месяцам), производственным участкам, автоматическим линиям, рабочим местам, при оперативной корректировке планов, перестройке производства в условиях гибкой автоматизированной технологии и при решении других подобных задач, необходимо разрабатывать возможные варианты решения и выбирать из них лучший с точки зрения определения критериев и ограничений.

Моделирование таких задач существенно усложняется при позаказной системе планирования, особенно в условиях разнотипного производства, которое характеризуется рядом особенностей, затрудняющих применение при решении этих задач методов математического программирования.

В частности, задачи объемно-календарного планирования при позаказной системе производства имеют следующие особенности:

¹ Приводимые в этом параграфе примеры получены в результате работы, которая проводилась совместно с д-ром экон. наук, проф. СПбГПУ **В. А. Дуболазовым** с привлечением студентов.

- задачу о распределении производственной программы по плановым периодам или производствам не всегда можно или целесообразно сводить к наиболее исследованной задаче линейного программирования из-за нелинейности или дробно-линейного характера зависимостей переменных, а также их целочисленности; учет же этих факторов существенно усложняет постановку и решение задачи или делает ее решение невозможным в реальных производственных условиях из-за большой размерности;
- модели математического программирования не позволяют (или позволяют с большим трудом) учесть многие важные производственно-экономические факторы, влияющие на распределение производственной программы, такие, например, как необходимость выпуска изделий партиями или отдельными заказами, которые нецелесообразно дробить по отдельным плановым периодам; целесообразность концентрации изготовления однотипных и конструктивно-однородных изделий в одних или смежных плановых периодах; непрерывность изготовления изделий с длительностью производственного цикла больше планового периода; приоритет отдельных заказчиков в получении продукции; обеспечение заданного ассортимента и необходимой комплектности выпускаемой продукции (эту особенность пытаются иногда ослабить введением развернутой системы ограничений с учетом нелинейности производственно-экономических связей, что приводит к существенному усложнению модели, нежелательному в практических условиях ее применения);
- при позаказной системе планирования даже однотипного производства возникают трудности при определении переменной модели математического программирования, если учесть упомянутое выше требование отсутствия дробления заказов по плановым периодам или участкам производства (что может получиться при выборе в качестве переменной программирования отдельного изделия); в условиях же не однотипного производства, когда изделия существенно отличаются друг от друга трудоемкостью изготовления, объемами реализуемой продукции и другими показателями, определить переменную модели математического программирования

можно только путем введения каких-либо условных, сравнимых заказов или партий, что весьма затрудняет интерпретацию результатов моделирования;

- в реальной действительности приходится сталкиваться не только со сложностью разработки моделей, но и с трудностью установления (особенно на начальном этапе постановки задачи) показателей оптимальности и ограничений, которые в условиях конкретного предприятия имеют наибольшее значение. В ряде случаев появляется необходимость их уточнения или поиска в процессе решения задачи, что затруднено или невозможно в моделях математического программирования.

Одним из путей преодоления этих трудностей является поиск эвристических процедур и формирование на их основе имитационных моделей, с помощью которых можно учесть многие из рассмотренных факторов, влияющих на принятие плановых решений. По этому пути вначале шла практика планирования. Однако такой подход связан со значительными затратами времени и требует достаточно высокой квалификации и опыта работников аппарата планирования.

Поиск подхода к моделированию задач принятия плановых решений в рассмотренных условиях заставил обратиться к системному анализу, который, занимая промежуточное положение между формальными и эвристическими моделями, помогает быстрее разрабатывать человеко-машинные процедуры принятия решений и при этом учитывать больше, чем позволяют формальные модели, реальных факторов производства.

В частности, такие процедуры были разработана на основе метода морфологического ящика, рассмотренного в параграфе 2.5.

Приведем вначале упрощенный пример, поясняющий суть подхода, а затем — пример, приближенный к реальным условиям разнотипного производства с позаказной системой планирования.

Морфологическое моделирование задач планирования при позаказной системе производства однотипной продукции. Предположим, что цех получает задание на производство продукции не в штуках, а в виде заказов, включающих изделия, одинаковые по трудоемкости изготовления, но имеющие определенные отличительные особенности (например, различную окраску, комплек-

тацию и т.п.). Так может планироваться производство приборов разного рода, специального оборудования, автомобилей для экспорта, специализированных интегральных элементов электронных устройств и т.д.

Для простоты допустим, что речь пойдет о сборочном цехе и о производстве достаточно крупных изделий, объемы заказов которых исчисляются в штуках, десятках или сотнях штук.

Пусть требуется выполнить следующие заказы: $Z_1 = 10$, $Z_2 = 20$, $Z_3 = 30$, $Z_4 = 40$, $Z_5 = 50$, $Z_6 = 60$ (объемы заказов даны в условных единицах; это могут быть либо изделия большого размера, либо объемы в тысячах штук и т.п.). Для их выполнения в цехе имеется три взаимозаменяемые сборочные линии, по которым заказы нужно распределить по возможности более равномерно, но в то же время не дробить их на части, так как это усложняет ведение документации и учет поставок продукции заказчику.

Эта задача может быть отнесена к классу задач загрузки оборудования. При постановке ее с применением математического программирования целевая функция может, например, иметь следующий вид:

$$F = \sum_j (\Phi_j - \sum_i a_{ij} x_i) \rightarrow \min, \quad (4.5)$$

где Φ_j — общий фонд времени работы j -го вида оборудования (в данном случае линий сборки) в плановом периоде; x_i — количество изготавливаемых изделий i -го вида; a_{ij} — трудоемкость изготовления одного изделия i -го вида на j -м виде оборудования.

Таким образом, даже если не выполнять одно из требований — не делить заказы на изделия, то и в этом случае задача не может быть представлена в форме наиболее исследованной и имеющей стандартное программное обеспечение задачи линейного программирования, разность в выражении (4.5) может менять знак (возможна либо недогрузка, либо перегрузка оборудования), т.е. целевая функция немонотонна и ее минимизация не имеет смысла.

Разумеется, существуют подходы к решению задач в такой постановке. Однако применяемые приемы затрудняют понимание моделей и интерпретацию результатов на практике. Имеются эвристические алгоритмы решения этой задачи. Например (рис. 4.10), задаваясь Φ_j и x_i и зная (из нормативно-справочной информации) a_{ij} , вычисляют фактическую тру-

Ввод x_i, Φ_i, a_{ij}	
$T_j = \sum_i a_{ij} x_i$	
$h = T_j / \Phi_j$	
$\eta = \Phi_j / T_j$ $x_{\Phi i} = x_i h$	
$\eta < 1$	
Дефицит $-\Delta x_i =$ $= x_i - x_{\Phi i}$	Резерв $+\Delta x_i =$ $= x_{\Phi i} - x_i$
Вывод $\eta, h, -\Delta x_i, +\Delta x_i$	

Рис. 4.10

доемкость изготовления всех изделий T_j , коэффициенты загрузки оборудования h , его пропускной способности η , перегрузку и недогрузку оборудования $+\Delta x_i$ и $-\Delta x_i$, по значениям которых судят о необходимости изменения x_i . Процедура повторяется до тех пор, пока получаются приемлемые значения $+\Delta x_i$ и $-\Delta x_i$.

В таком эвристическом алгоритме можно учесть больше факторов производственного процесса: например, коэффициенты сменности, износа и переналадки оборудования и т.п.

Однако и этот алгоритм не позволяет выполнить одно из требований, содержащихся в условиях данной задачи, —

не дробить заказы. Это требование можно выполнить, поставив задачу целочисленного программирования с булевыми переменными. Однако такая постановка в еще большей мере усложнит практическое использование модели.

Можно предложить и другие эвристические алгоритмы: расположить заказы в порядке возрастания, и соединять крайние; или просуммировать объемы заказов и разделить на число линий сборки, а затем пытаться подобрать усредненный объем. Однако, во-первых, при большом числе заказов эти алгоритмы также нереализуемы, а во-вторых, если в приводимом примере первый заказ имеет объем не 10, а 20, то сумма не делится на 3 без дробления не только заказов, но и изделий.

Рассмотрим возможность применения для решения этой задачи метода морфологического ящика, рассмотренного в гл. 2¹.

Сформируем из заказов морфологическую матрицу — МЯ (табл. 4.1).

В практике объемно-календарного планирования оказалось удобным как бы перевернуть двумерный МЯ и комбинировать не элементы строк, а элементы столбцов (такие таблицы привычнее для работников плановых отделов), т.е. формировать МЯ не из векторов-строк, как в исходном варианте *Ф. Цвикки*, а из векторов-столбцов, что похоже на привычные для работников плановых отделов таблицы планов загрузки производств, кварталов и т.п.

¹ Впервые задача была исследована и программно реализована студентками *И. Н. Фаенсон* в 1982 г. (на примере распределения заказов по кварталам) и *Г. И. Корсуновой* в 1983 г. (на примере распределения заданий на выполнение проектов по проектным группам).

При формировании столбцов можно предложить какой-либо принцип объединения заказов в группы.

Например, в первом варианте применения этого метода при формировании МЯ для распределения заказов по кварталам было предложено объединить заказы в группы с учетом заказчиков и приоритетности выполнения их заказов; были выделены следующие группы: экспортные заказы, заказы для других отраслей и внутриотраслевые заказы.

Таблица 4.1

а			б				
<i>L</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>L(I)</i>	<i>ZA(I)</i>	<i>OZA(I)</i>	<i>ZB(J)</i>	<i>OZB(J)</i>
Л1	Z1 = 20	Z4 = 40	Л1	Z1	20	Z4	40
Л2	Z2 = 20	Z5 = 50	Л2	Z2	20	Z5	50
Л3	Z3 = 30	Z6 = 60	Л3	Z3	30	Z6	60

в				Вариант решения								
<i>L(I)</i>	<i>ZA(I)</i>	<i>ZB(J)</i>	<i>S</i>	1			2			3		
Л1	1	4	60	-			-			-		
Л1	1	5	70	+			+			-		
Л1	1	6	80	-			-			+		
Л2	2	4	60		+		-				-	
Л2	2	5	70	-			-				+	
Л2	2	6	80		-		+			-	-	
Л3	3	4	70		-				+			+
Д3	3	5	80	-			-			-	-	
Л3	3	6	90			+	-			-		

В рассматриваемой задаче заказы вначале объединим подряд в две группы: $A = \langle Z1, Z2, Z3 \rangle$ и $B = \langle Z4, Z5, Z6 \rangle$ (табл. 4.1, а). Если приемлемое решение не будет получено, то МЯ можно переформировать, объединив заказы по другому.

На основе полученной матрицы-«ящика» можно, комбинируя элементы столбцов (по одному из каждого столбца), образовывать возможные размещения заказов по линиям сборки (обозначенным в МЯ $L = \langle L1, L2, L3 \rangle$), из которых далее нужно сформировать требуемое решение или варианты решения по принципу, приведенному на рис. 2.17 в гл. 2, т.е. решение должно состоять из трех размещений, отражающих загрузку всех трех линий сборки; при этом один и тот же заказ нельзя планировать для выполнения

более, чем на одной линии, и все заказы должны быть выполнены и войти в решение. Идея исключения заказов выбранных вариантов иллюстрируется табл. 4.1, в.

Для автоматизации перебора вариантов размещений с повторениями нужно, естественно, образовать разные массивы для символьной и числовой информации, т.е. отделить массив наименований заказов ZA и ZB (символьную информацию), которые нужно хранить и представлять ЛПП в реальном виде, и объемы заказов OZA и OZB , и связать массивы $ZA—OZA$ и $ZB—OZB$ общими переменными (табл. 4.1, б). Для сокращения перебора можно также связать общей переменной с массивом L один из массивов заказов.

Принципиальный алгоритм получения размещений с повторениями приведен на рис. 4.11, а. Пользуясь этим алгоритмом, можно получить область допустимых решений, т.е. возможных размещений заказов по линиям.

Если эта область получается очень большой, то в алгоритм можно ввести ограничения по суммарному объему S заказов, выполняемых на одной линии $SMIN$ и $SMAx$ (рис. 4.11, б), варьируя которые можно расширять и сужать область допустимых решений.

Далее применяют алгоритмы для осуществления исключения выбранных вариантов на каждом очередном шаге (рис. 4.12, в, г).

Первоначально эти алгоритмы были названы алгоритмами «вычеркивания».

На практике крайне редко бывают ситуации, когда удастся получить абсолютно одинаковую загрузку линий (или станков, кварта-

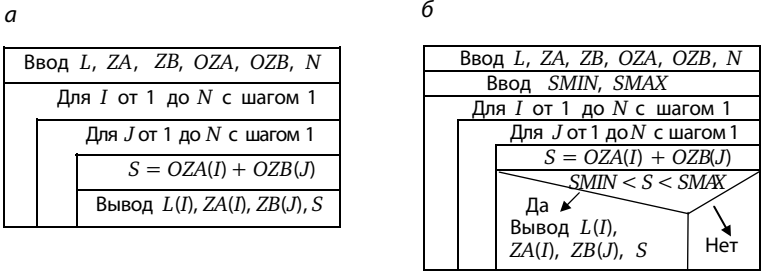


Рис. 4.11

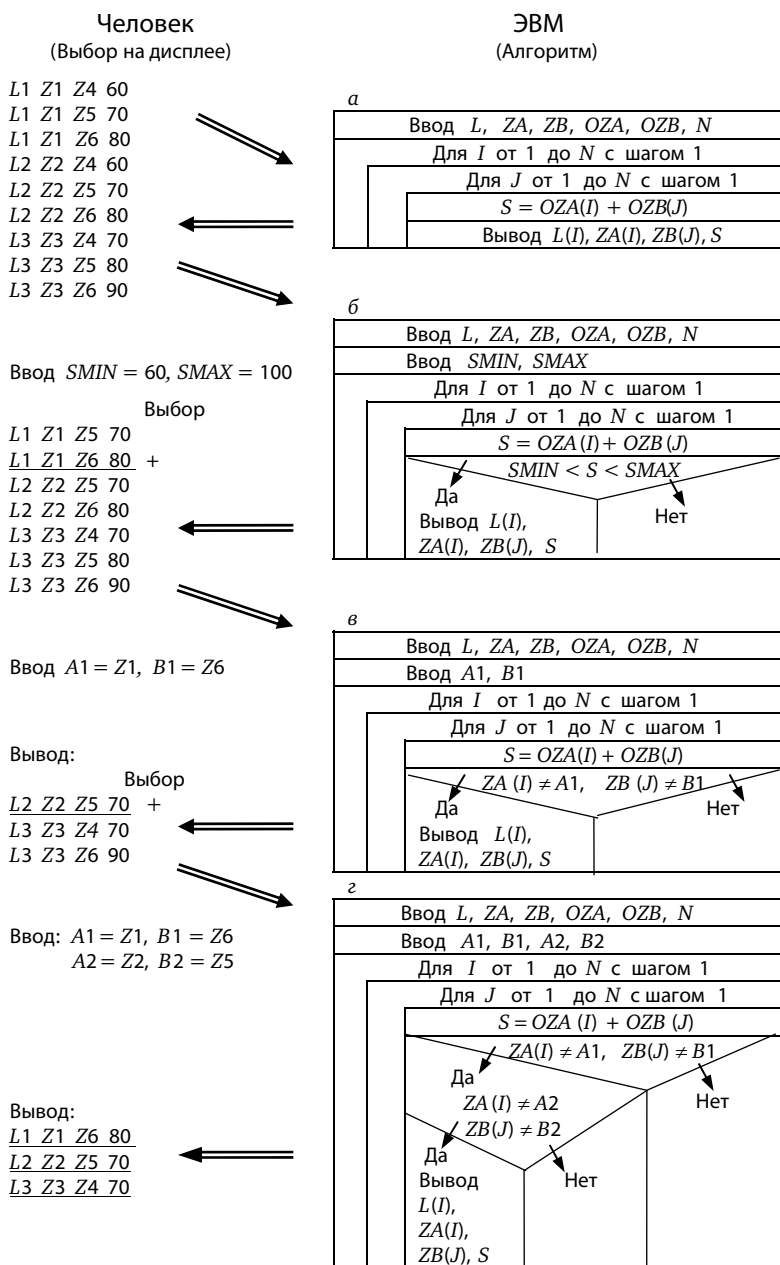


Рис. 4.12

лов и т.п.). Поэтому задача ставится как задача минимизации перегрузки или недогрузки оборудования (плановых периодов). При этом, как очевидно из табл. 4.1, в, можно получить несколько вариантов решения, которые с точки зрения первоначального количественного критерия (количества изделий) равноценны.

Для уточнения решения можно ввести дополнительные критерии — трудоемкость, объем реализуемой продукции или прибыль от ее реализации и т.п.), с помощью которых ограничивать область допустимых решений, аналогично рассмотренному.

Кроме того, возможно далее ввести качественные критерии. Например, из двух равноценных вариантов с перегрузкой одной из линий, можно выбрать вариант с перегрузкой линии, на которой производятся хорошо отработанные конструкции изделия, и, напротив, недогрузить линию, на которой производят вновь осваиваемое изделие.

Аналогично при решении задачи загрузки плановых периодов можно выбрать вариант, в котором недогружен летний квартал, на который приходится наибольшее число отпусков, или учесть критерий пожелания приоритетного заказчика — выполнить его заказ пораньше.

Таким образом, применяя морфологический подход, получаем человеко-машинную процедуру принятия решений, которая позволяет в интерактивном режиме выбирать варианты решения, последовательно уточнять критерии, а при необходимости — возвратиться и переформировать МЯ.

Отметим, что с помощью морфологического подхода фактически получена методика постепенного ограничения области допустимых решений. Иными словами, этот подход явился методом активизации, который помогает лицу, принимающему решение, в постановке задачи и организации поиска ее решения, т.е. в постепенной формализации модели принятия решений.

С математической точки зрения рассмотренная процедура не является процедурой оптимизации. Ее можно квалифицировать как постепенно ограничиваемый перебор.

В реальных условиях принципы постановки задачи и разработки алгоритмов сохраняются, но конкретизируются с учетом особенностей задач и условий производства. Особая необходимость в использовании морфологического подхода возникает в условиях разнотипного производства.

Планирование загрузки оборудования в условиях позаказного производства разнотипной продукции¹. Предположим, что при распределении годовой производственной программы разнотипного производства по кварталам нужно учесть следующие производственно-экономические факторы: наличие изделий с длительностью производственных циклов, превышающих плановый период (квартал); незавершенное производство на начало и конец года (переходящие заказы или партии изделий); сроки и количество изделий, в том числе заказами и партиями; возможность варьирования размерами партий изделий; концентрацию выпуска одноименных и конструктивно однородных изделий в одном или смежных плановых периодах (в качестве показателей конструктивной однородности можно ввести коэффициент конструктивной ответственности изделий) и т.п.

Основным критерием, как и в предыдущей задаче, будем считать требование равномерной загрузки оборудования (по разным производствам или в разных плановых периодах, в нашем случае — кварталах), которую формально можно выразить в виде допустимых отклонений от среднеквартальной загрузки, уменьшая которую можно сузить область допустимых решений, а увеличивая — расширить ее.

Ограничение перебора возможных вариантов размещения заказов или партий изделий по плановым периодам определяется прежде всего принципами формирования МЯ. В частности, в рассматриваемой задаче координаты МЯ определяются следующим образом: число строк в МЯ равно числу плановых периодов (т.е. четырем кварталам), число столбцов зависит от количества заказов и партий и от конкретных производственно-экономических условий производства.

Принципы формирования МЯ приведены в табл. 4.2.

Например, для учета производственно-экономических факторов, рассмотренных в начале постановки задачи, в МЯ можно выделить следующие столбцы:

- 1) специальные заказы СЗ, сроки выпуска которых жестко заданы и привязаны к соответствующему кварталу (в МЯ это отражается общим индексом у кварталов и заказов, т.е. общей переменной);

¹ Пример подготовлен студенткой СПбГТУ И. В. Корнеевой в 1996 г.

Таблица 4.2

K_i	I. Регламентированная часть ГППЗ			II. Конструктивно-однородные изделия	III. Распределяемые заказы		IV. Прочие заказы и партии изделий	
	1	2	3	4	5	6	7	8
	$C3_i$ $OC3_i$	D_i OD_i	B_i OB_i	KO_i OKO_i	$P3_j$ $OP3_j$	$P35_j$ $OP35_j$	$ПЗА_l$ $ОПЗА_l$	$ПЗБ_l$ $ОПЗБ_l$
K_1	$A_1 = 5$	$D_1 = 5$	$B_1 = 250$	$KO_1 = 3$	$P3_1 = 10$	$P3_{51} = 4$	$ПЗ_{11} = 5$	$ПЗ_{31} = 4$
K_2	$C_2 = 25$	$D_2 = 5$	$B_2 = 250$	$KO_2 = 10$	$P3_2 = 2$	$P3_{52} = 4$	$ПЗ_{12} = 15$	$ПЗ_{32} = 4$
K_3	$E_3 = 2$	—	$B_3 = 250$	$KO_3 = 2$	$P3_3 = 5$	$P3_{53} = 4$	$ПЗ_{21} = 10$	$ПЗ_{41} = 2$
K_4	$C_4 = 25$	—	$B_4 = 250$	—	$P3_4 = 8$	—	$ПЗ_{22} = 20$	$ПЗ_{42} = 2$

- 2) заказы D_i , изделия которых имеют длительность производственного цикла больше квартала;
- 3) заказы одинакового объема B_i ;
- 4) заказы и партии конструктивно однородных (с изделиями заказов $C3_i$) изделий KO_i , которые целесообразно изготавливать в том же квартале, что и специальные заказы $C3_i$, имеющие конструктивную однородность с ними (что и отражено общим индексом i);
- 5) изделия серийного и массового выпуска P_j , распределяемые равномерно (пропорционально числу рабочих дней, %; распределяемые заказы и партии изделий $P3_j$, сроки которых жестко не заданы;
- 6) распределяемый заказ $P35_j$, изделия которого имеют длительность производственного цикла три квартала и в связи с этим разделены на три условных заказа $P3_{51}$, $P3_{52}$, $P3_{53}$ (для сокращения перебора эти заказы связаны общим индексом с заказами группы $P3_j$, но могли бы иметь и независимый индекс);
- 7) и 8) — прочие заказы и партии изделий $ПЗА_l$ и $ПЗБ_l$, количество изделий в которых может меняться (что отражается в модели путем реформирования МЯ).

Например, в приведенном МЯ заказ $ПЗА_l$ состоит из $ПЗ_1$, который разделен на партии, содержащие 5 и 15 изделий, и $ПЗ_2$ — с партиями 10 и 20 изделий; изделия заказа $ПЗБ_l$ имеют производственный цикл два квартала, и заказы $ПЗ_3$ и $ПЗ_4$ разделены на партии, состоящие из четырех и двух изделий.

Столбцы 7 и 8 в общем случае могут быть не связаны индексом (переменной). При этом при выборе вариантов решения нужно учитывать, что PZ_{32} выполняется после PZ_{31} (т.е. в следующем квартале), а PZ_{42} после PZ_{41} (чтобы это не учитывать в алгоритме выбора решения, нужно столбец 8 в МЯ связать с кварталами общей переменной).

Кроме того, в МЯ, приведенном в качестве примера в табл. 4.2, учтено, что A_1 — заказ, переходящий с предыдущего года, поэтому он помещен в первую строку (первый квартал) и в первый столбец заказов, связанный общим индексом со столбцом кварталов; заказ E_3 обязательно должен быть выпущен в третьем квартале, заказ C выпускается двумя партиями по 25 штук во втором (C_2) и четвертом (C_4) кварталах (они тоже помещены в первый столбец, связанный переменной с кварталами); заказ D_i с длительностью цикла два квартала должен быть завершен во втором квартале (для этого D_i разделен на части D_1 и D_2 , которые помещены в первый и второй кварталы, также путем образования столбца, связанного общей переменной со столбцом кварталов). Оценка каждого заказа обозначена индексом этого заказа с буквой «О» перед ним.

В целом правила формирования МЯ определяются конкретными производственно-экономическими условиями и эвристическими правилами, которыми руководствуются работники плановых органов предприятия. Эти правила полезно сформулировать, создать автоматизированную диалоговую процедуру формирования МЯ в виде экспертной системы, постепенно накапливающей новые правила, возникающие в реальных условиях производства, и на основе этого опыта совершенствовать и ускорять процессы планирования.

Обратим внимание, что в приведенном примере число размещений заказов и партий по кварталам $R = 4^4 = 256$, а если бы не было столбцов, связанных переменными, то область допустимых решений была бы существенно больше.

Дальнейшее сокращение числа вариантов размещения достигается за счет критериев, ограничивающих область принятия решений путем последовательного их введения. Прежде всего (как и в рассмотренном выше упрощенном примере) следует учесть критерий равномерной загрузки (или минимальной перегрузки или недогрузки кварталов).

При этом следует иметь в виду, что если в случае однотипного производства можно было в качестве исходного критерия использовать количество изделий, то при разнотипном производстве необходимо сразу в качестве критерия выбирать трудоемкость.

В реальных условиях не всегда удастся определить усредненную трудоемкость для всего технологического цикла сложного изделия, и тогда общая оценка трудоемкости может быть заменена несколькими оценками трудоемкости изготовления изделия на разных производствах или с использованием разных видов оборудования. В последнем случае можно первоначально разделить общую задачу планирования на ряд подзадач загрузки отдельных участков или видов оборудования (например, сборка, окраска, регулировка и т.д.), получить для этих участков варианты равномерной загрузки, а затем сформировать сетевые модели вариантов технологического цикла изделия.

В качестве дополнительных критериев можно использовать ограничение по фондам материально-технического снабжения, т.е. учесть предварительно составленный план получения предприятием соответствующих материалов, покупных полуфабрикатов, комплектующих изделий и т.п., и повлиять на изменение этого плана. В числе дополнительных критериев могут быть также объем реализуемой продукции, себестоимость, прибыль, расход заработной платы, а также качественные критерии, рассмотренные выше.

Расширению практического применения ММЯ существенно способствует автоматизация морфологического моделирования. При этом важно автоматизировать не только получение вариантов решения, т.е. собственно перебор, но и получение оценок этих вариантов и даже формирование МЯ.

В приведенных примерах применение морфологического моделирования принятия решения проводится в интерактивном режиме, т.е. используется человеко-машинная процедура. При этом в примере с разнотипной продукцией в диалоговом режиме проводится не только анализ, но и формирование МЯ.

Такая процедура, базирующаяся на идее постепенной формализации модели принятия решений путем переключения методов формализованной обработки МЯ и активизации использования опыта человека, обеспечивает последовательное ограничение области допустимых решений на основе участия в формировании и анализе модели принятия решений человека (или ЛПР), который уточняет заполнение МЯ и критерии выбора решения.

Темы для самоконтроля

1. Понятие о постепенной формализации моделей принятия решений.
2. Применение идеи постепенной формализации при решении системы уравнений с числом неизвестных большим, чем число уравнений.
3. Подход к постепенной формализации моделей принятия решений, основанный на попеременном использовании средств МАИС и МФПС.
4. Модель постепенной формализации в задаче анализа информационных потоков в системах управления.
5. Модели постепенной формализации принятия решений при организации технологических процессов производства.
6. Модели постепенной формализации принятия плановых решений на основе морфологического подхода.
7. Алгоритмы реализации автоматизированной диалоговой процедуры постепенно ограничиваемого перебора при решении задач объемно-календарного планирования.

ГЛАВА 5

Цели: формулирование, структуризация, анализ

Одной из принципиальных особенностей системного анализа, отличающей его от других направлений системных исследований, является разработка и использование средств для формирования и анализа целей и функций систем управления. Основные сведения о понятии цели, неоднозначности его использования, о закономерностях целеобразования, играющих важную роль при формировании и анализе структур целей, были рассмотрены в гл. 1.

В данной главе охарактеризована роль целей в управлении развивающимися системами и полезность использования закономерности эквивалентности при формулировании цели (параграф 5.1); приведены методики структуризации целей и функций, разработанные различными исследователями. Вначале методики формирования и исследования структур целей («деревьев целей») базировались на сборе и обобщении опыта специалистов, накапливающих этот опыт на конкретных примерах (параграф 5.2). Однако в этом случае невозможно доказать полноту получаемых структур. Поэтому стали разрабатываться методики, основанные на применении философских концепций представления системы, гарантирующих полноту структуризации с точки зрения принятой концепции. Примеры и сравнительный анализ таких методик приводятся в параграфе 5.3. В параграфе 5.4 изложена обобщенная методика структуризации целей, помогающая при разработке методик анализа целей для конкретных предприятий, организаций, регионов с учетом их особенностей и периода развития. В параграфе 5.5 рассматриваются проблемы анализа целей в многоуровневых системах. В параграфе 5.6 приведены принципы автоматизации процесса формирования структур целей и оценки значимости их составляющих.

После изучения данной главы студент должен:

знать

- принципы разработки методики системного анализа;
- методику ПАТТЕРН;
- приемы и принципы структуризации Ю. И. Черняка;

- методику С. А. Валуева;
- методику, основанную на двойственном определении системы (А. И. Уёмова — Б. Д. Кошарского);
- методику, основанную на концепции системы, учитывающей взаимодействие со средой (Ф. И. Перегудова — В. Н. Сагатовского);
- методику, основанную на концепции деятельности (В. Н. Волковой — В. Н. Четверикова);
- методику структуризации системы, стремящейся к идеалу (Р. Акоффа — Ф. Эмери);

уметь

- выбирать методики, принципы и приемы структуризации для конкретного социально-экономического объекта;
- разрабатывать структуру методики системного анализа;

владеть

- навыками выбора методики структуризации для конкретного социально-экономического объекта, разработки и применения автоматизированных диалоговых процедур для их реализации.
-

5.1. Проблемы формулирования цели при управлении развивающимися системами

Роль целей в управлении развивающимися системами с активными элементами. Особенности биологических и социально-экономических объектов по сравнению с техническими, как было показано в гл. 1, привели к возникновению в 20-е гг. XX в. теории организационных систем (тектологии А. А. Богданова [18]), а в 30—40-е гг. XX в. общей теории систем (Л. фон Берталанфи [16, 17, 107]).

На протяжении значительного периода развития теории систем и ее прикладных направлений — системотехники, системологии, системного анализа — основой исследования и моделирования широкого класса систем являлась парадигма *открытой системы Берталанфи*.

В развитие этой концепции, как было показано в гл. 1, большой вклад внесли В. Г. Афанасьев [15], В. С. Тюхтин [82], проводившие углубленные и разносторонние исследования закономерности целостности; Р. Акофф и Ф. Эмери [13], М. Г. Макаров [52], Ю. И. Черняк [91, 92], Л. А. Растригин [30, 70, 71], В. Н. Сагатовский и Ф. И. Перегудов [66]

и др., исследования которых помогли осознать и использовать для организации управления понятие цели как побуждение, а не принуждение, к деятельности, позволили сформулировать рассмотренные в гл. 1 закономерности целеобразования с учетом взаимодействия внешних и внутренних факторов и явились основой для разработки методик структуризации целей и функций систем организационного управления.

В то же время постепенно парадигма открытой системы, которая помогала хорошо отображать сущность биологических объектов (в том числе биологического уровня эквифинальности человека), стала дополняться все большим вниманием исследователей не к *внешним* факторам среды, влияющей на существование и функционирование системы, а к *внутренним активным началам*, которые приводят к проявлению у социально-экономических объектов таких свойств, как нестационарность параметров и нестабильность поведения, непредсказуемость и уникальность, способность адаптироваться к изменяющимся условиям (причем не только к помехам, но и к управляющим воздействиям), способность изменять свою структуру и вырабатывать варианты поведения, способность и стремление к целеобразованию и другие, рассмотренные в гл. 1.

Большинство из этих свойств является следствием наличия в системе активных элементов, которые и обуславливают способность системы противостоять энтропийным, разрушающим тенденциям и создавать негэнтропийные.

На то, что в сложных системах проявляются не только закономерности (энергетические, информационные), подобные второму закону термодинамики («второму началу»), но и противодействующие им, обратил внимание еще *Берталанфи*. Затем синергетика *И. Пригожина* [69], «дуализм» *Дж. ван Гига* [26] помогли более глубоко осознать принципиальное наличие в развивающихся системах одновременно двух закономерностей — стремление к увеличению энтропии (переход на более низкий уровень эквифинальности) и проявление негэнтропийных тенденций (лежащих в основе законов эволюции систем, перехода их на более высокий уровень эквифинальности), которые обуславливают сложные диалектические взаимоотношения между уровнями иерархической упорядоченности систем.

Первоначально, опираясь на *Берталанфи*, исследователи объясняли способность системы противостоять энтропийным тенденциям открытостью системы, ее взаимодействием со средой. Но затем появились концепции, опирающиеся на активное начало компонентов

системы. Такие концепции управления социально-экономическими объектами базируются не только на традиционно рекомендуемых методах принуждения (в том числе методах принуждения к труду в той или иной форме, методах, оправдывающих эксплуатацию, насилие и т.п. средства), а рекомендуют, используя активность элементов, опираться на целеобразование, организацию процессов коллективного формирования целей-побуждений к действию, способствующих повышению эффективности деятельности активных элементов.

Для реализации активизирующей роли цели в системах организационного управления необходимо обеспечить полноту определения целей и функций предприятия, организации, региона и т.д. на соответствующем этапе их развития, провести оценку функций с точки зрения их значимости, трудоемкости, частоты выполнения и т.п., и сформировать структуру целей и функций для выбранного уровня системы управления или исследуемого вида деятельности.

В результате такого анализа руководители организации или отдельных ее подразделений могут получить рекомендации о необходимости усиления внимания к тем или иным видам деятельности, участкам производства, функциям управления, о целесообразности перераспределения финансовых, материальных, кадровых и иных ресурсов. Полученная структура целей и функций является основой для разработки или корректировки организационной структуры предприятия, системы управления регионом и т.д.

Основные этапы развития целевого управления. Проблемы целеполагания долгое время были предметом исследования философов, психологов, кибернетиков. Но, начиная с 60—70-х гг. XX в. эти проблемы становятся объектом серьезного исследования в экономике и теории управления.

Осознание роли цели и целеустремленности в системах управления привело к созданию в зарубежных странах так называемых «думающих» фирм и корпораций типа RAND, занимающихся разработкой прогнозов развития, формированием и анализом структур целей («деревьев целей») вначале в области управления военным потенциалом (для чего была разработана методика ПАТТЕРН [49], характеризующаяся в параграфе 5.2). Затем обратились к изучению целеустремленных систем, стремящихся к идеалу [13]. Развитием этих исследований явился ряд работ по прогнозированию и перспективному планированию на различных фирмах и на общегосударственном уровне в США (см. параграф 5.2).

Справедливости ради следует отметить, что в истории нашей страны имеется также определенный практический опыт целевого управления, в том числе использующий результаты теоретических исследований.

Целевое управление и планирование в нашей стране использовалось с 1918 г. (план ГОЭЛРО).

Однако в дальнейшем идея перспективного планирования превратилась в планирование «от достигнутого», в разработку жестких директив на очередную пятилетку, без прогнозирования структурных сдвигов в организации управления промышленностью и народным хозяйством в целом.

В середине 1960-х гг. была предложена концепция программно-целевого планирования и управления, следствием чего явилось включение категории «цель» в систему экономических и управленческих понятий и решений на самых высших уровнях руководства страной и экономикой.

В 1970-е гг. исследования отечественных ученых развили концепцию роли цели в управлении как побуждения к деятельности, помогли осознать необходимость замены жесткого планирования, осуществляемого в форме разработки директив на пятилетку, разработкой комплексного прогноза (впоследствии названного Комплексной программой развития научно-технического прогресса и его социально-экономических последствий) на 20 лет и Основными направлениями экономического и социального развития страны на 10—15 лет).

Была осознана также полезность привлечения к процессам прогнозирования и перспективного планирования (т.е. к процессам целеобразования) широкой научной общественности — такой термин был введен в тот период для обобщенного названия компетентных специалистов, которых стали привлекать к разработке прогнозов и основных направлений развития страны, создавая соответствующие комиссии при Академии наук СССР, Госплане СССР и Государственном комитете по науке и технике Совета Министров СССР.

Это решение частично обеспечивало условия для реализации второй закономерности целеобразования — учета внутренних потребностей, мотивов, программ посредством включения в состав комиссий представителей различных слоев населения.

Такие комиссии формировались на общественных началах из наиболее компетентных представителей научной общественности из разных организаций (научно-исследовательских институтов, предприятий, вузов) разных республик и областей страны. Они разрабатывали прогнозы и предложения к документам «Основные направления экономического и социального развития...» по отраслям, группам отраслей и межотраслевым проблемам.

При разработке и представлении этих документов использовались методики структуризации целей, что реализует теоретические исследования закономерностей целеобразования и структуризации целей.

Учитывая территориальную разобщенность членов комиссий, их работа в основном осуществлялась в форме сбора письменных обоснованных предложений (типа «сценариев») от членов комиссий, периодических совместных обсуждений их точек зрения на заседаниях комиссий и подготовки обобщенных документов «Предложения к Комплексной программе экономического и социального развития страны», которые затем передавались в Совет Министров СССР и ЦК КПСС для разработки документов «Основные направления экономического и социального развития на период ... годов» (на очередные 10—15 лет) и «Пятилетний план на ... годы».

В результате к работам этого масштаба привлекалось не только правительство и ЦК КПСС, но и значительное число наиболее активных и компетентных членов общества — ученых из академий наук, научно-исследовательских институтов и вузов, руководителей, научных сотрудников предприятий и учреждений и т.п.

Кроме того, проект «Основные направления экономического и социального развития страны ...» (на очередные 10—15 лет) широко публиковался в периодической печати, и любой гражданин имел право внести свои корректировки и новые предложения, что также способствовало реализации второй закономерности целеобразования.

Аналогичную работу предписывалось проводить не только на уровне страны, но и на уровне регионов, отраслей, научно-производственных объединений, которые к тому времени стали создаваться для совершенствования планирования и управления промышленностью (двухступенчатое управление отраслью). Это опять-таки соответствовало теоретическим рекомендациям о необходимости расчленения большой неопределенности на более обоб-

римые, что способствует повышению объективности принимаемых управленческих решений.

Теоретически были созданы условия для участия в прогнозировании и целеобразовании всех желающих. Однако, к сожалению, на практике привыкшие к директивам коллективы промышленных предприятий и других организаций редко пользовались предоставляемыми правами, да и обработка полученных предложений с использованием традиционных методов «голосования», т.е. принятие решений по большинству однотипных предложений, не позволяли вынести «редкие» (как правило, содержащие радикальные перспективные предложения) и противоречивые мнения не только на страницы печати, но и для обсуждения на уровень общегосударственных органов управления страной.

Таким образом, «механизм» целевого управления, система прогнозирования были созданы, но нуждались в дальнейшем совершенствовании, разъяснении их роли в управлении обществом, создании соответствующих методов и методик прогнозирования, структуризации и анализа целей, оценки предложений.

На какой-то период реформы 1970-х гг., часто кратко именуемые косыгинскими (поскольку их инициатором в правительстве был **А. Н. Косыгин**), позволили повысить эффективность народного хозяйства.

В то же время во многих случаях программно-целевое планирование вновь свелось к разработке целевых программ и планов небольшими коллективами аппарата управления и принуждению к выполнению этих программ и планов коллективами работников, которым была отведена пассивная роль в целеобразовании и для которых эти целевые документы оставались требованиями, диктуемыми свыше, принуждением, а не побуждением к действию.

Кроме того, даже в тех случаях, когда с помощью программно-целевых методов управления руководители, понимающие кризис прежних форм и методов управления, пытались активизировать работников, повысить их заинтересованность в результатах своего труда (и тем самым увеличить производительность труда), они наталкивались на пассивность подавляющего большинства сотрудников, привыкших к директивному планированию.

Попытки повысить активность работников предприятий и организаций с помощью внедрения методов хозрасчета и самофинансирования в условиях прежней командно-административной системы управления

привели к стандартизации и этих новых форм управления (внедрялись «сверху» директивно определяемые формы хозрасчета без учета специфики предприятий) и не позволили в полной мере реализовать самоорганизацию и самоуправление на уровне предприятий и организаций.

Переход к новым экономическим отношениям, ориентированным на активизацию и стимулирование труда производителей с помощью возврата им права на частную собственность и внедрения рыночных механизмов регулирования товарообмена между производителями и потребителями товаров, активизировал определенную часть населения, потребовал введения новых форм управления. Перестройка была ориентирована на большие возможности для реализации принципов самоуправления на всех уровнях — региональном, городском, районном, предприятий и организаций.

В этих условиях роль целеобразования, организации процессов перспективного планирования на всех уровнях управления существенно возрастает и повышается потребность в изучении, разработке и использовании методов и методик организации этого процесса.

Помощь в организации процессов формирования целей могут оказать закономерности систем и закономерности целеобразования, методики структуризации целей и автоматизированные диалоговые процедуры, рассматриваемые в данной главе.

Прежде всего руководители предприятий и организаций сталкиваются с проблемой формулирования общей (глобальной) цели, которую, как правило, вначале стремятся сформулировать в виде «цели-идеала».

Третья из рассмотренных в параграфе 1.7 гл. 1 закономерностей целеобразования предупреждает, что эту цель практически невозможно сформулировать сразу конкретно, а можно фактически определить только область цели, проблемной ситуации, для уточнения которой — свести задачу формулирования обобщенной цели к задаче ее структуризации. В то же время определить эту область все равно нужно, хотя это и достаточно сложно. Поэтому рассмотрим вначале проблему формулирования обобщенной «цели-идеала», характеризующей область структуризации цели.

Использование закономерности эквивинальности при формулировании цели. Формулирование «цели-идеала» связано с системой ценностей личности, общества, форм существования сообщества — города, региона, страны и т.п.

Система ценностей определяет желаемое будущее, предельный уровень развития личности или сообщества. В теории систем этот предельный уровень, как было отмечено в гл. 1, характеризуется закономерностью *эквифинальности*. Потребность во введении этого понятия возникает, начиная с некоторого уровня сложности систем. В то же время живые организмы по мере эволюции усложняются, и в разные периоды их жизни можно наблюдать различные состояния эквифинальности. В наибольшей мере это проявляется у человека, что является предметом изучения многих исследователей — биологов, философов, инженеров.

Пример

В качестве примера можно рассмотреть следующие основные уровни развития сложной системы (которые исследователи называют по-разному):

■ **материальный** уровень, который определяется врожденными потребностями и программами человека (самосохранение, т.е. поесть, поспать, одеться, иметь материальные блага разного рода); у предприятий — это повышенное внимание к оборудованию офиса, особенно в начальный период;

■ **эмоциональный** (доступные развлечения, эстетическое восприятие мира, потребность в проявлении и реализации чувств восхищения, любви и т.п.); настоящий художник, например, отдает предпочтение не материально-бытовым благам, а тратит доступные средства на холсты, путешествия; предприятия на каком-то этапе развития начинают учитывать и эстетику отношений между сотрудниками и с партнерами, форм обслуживания;

■ **семейно-общественный** (реализация программы продолжения рода, создания условий для воспитания потомства, ассоциирующихся традиционно с семьей, семейно-общественным укладом жизни); к этому уровню относится становление «мафии» («семьи» олигархов);

■ **социально-общественный**, определяемый соответствующими правилами сообщества того или иного типа, закрепляемыми в законодательстве, этических нормах, традициях и т.п. (история изучает развитие представлений об этом уровне в различных общественных формациях);

■ **интеллектуальный**, для которого характерна специфическая система ценностей, ориентированная главным образом на развитие творческих способностей личности (примером может служить атмосфера академгородков в начальный период их развития), повышенное внимание государства к науке и образованию.

Разумеется, у сформировавшейся личности или состоявшегося предприятия присутствуют все уровни. Возможно, каждый последующий вид включает необходимость достижения предыдущих. Однако имеются и иные точки зрения: у интеллектуально развитой личности могут быть не решены не только семейные проблемы, но и материальные (по представлениям тех, у кого этот названный первым уровень является приоритетным). И уж, по крайней мере, в различные периоды жизни индивида рассмотренные ценности занимают различное место в его жизни; приоритеты, ценностные ориентации по уровням развития личности различны у разных народов (организаций) и изменяются по мере развития человека и цивилизации. Так, например, «американская мечта» начального периода развития капитализма в Америке — свой дом, сад (первый из названных уровней). Мечта-идеал молодых людей 1960-х гг., отраженная в одной из популярных песен того периода, — «А я еду за туманом, за мечтами и за запахом тайги...» (эмоциональный уровень). Продолжая примеры, можно было бы вспомнить христианские заповеди (ориентированные на уровень культуры и этики), моральный кодекс строителя коммунизма и т.д.

Для нас более интересным является социально-общественный уровень развития организаций — город, регион, государство.

Здесь прежде всего можно опереться на исследования **В. И. Вернадского** и его последователей. В этих трудах нет упоминания об эквивалентности по Берталанди, но они могут помочь ответить на вопросы, нерешенные автором этой закономерности. Мировоззрение Вернадского связано с представлением о сфере разума — *ноосфере* (термин был предложен французским исследователем **П. Тейяром де Шарденом** на семинаре **Э. Леруа**) как уровне развития сообщества людей, отличном от *геосферы* и *биосферы*, существовавших до появления человека. Развивая его учение, некоторые философы предлагают понятия *пневмосферы* (духовной сферы), *этасферы* (сферы этики), сферы нравственности.

В настоящее время в исследованиях философов формулируются характеристики существующего и перспективного уровней существования человечества — *антропоцентризма* и *антропокосмизма* (термин введен в 1944 г. биологом **Н. Г. Холодным**).

В упрощенном изложении *антропоцентризм* является следствием принятого человечеством принципа — «человек — царь природы». В развитии этот принцип — «человек — царь зверей», и далее — вообще каждый должен стремиться к вершине «пирамиды» («каждый солдат должен

стремиться стать генералом» — модель римского легиона по *И. В. Бестужеву-Ладе*). Отсюда — эгоцентризм, человек — центр мироздания, повелитель, ресурсы природы — на службу человеку, между людьми, сообществами и природой — противоречия, конфликтные ситуации, их крайние проявления — мировые войны, тоталитаризм, разрушение ресурсов Земли, экологические проблемы; и как результат — угроза гибели человечества (прогнозы Римского клуба) и необходимость поиска путей выхода из сложившегося многоаспектного кризиса.

Антропокосмизм представляется по В. Н. Сагатовскому¹ обществом, идеал которого — не подчинение мира самоутверждающемуся человеку, а состояние ноосферы, где человек сознательно стремится к гармонизации негэнтропийных тенденций общества и природы. Личность и народ, принявшие такое мировоззрение, не абсолютизируют свои права и свободы, а стремятся к сотворчеству с другими людьми и народами, стремятся найти компромиссы, найти свою социальную нишу, аналогично экологическим нишам, сложившимся в природе.

Конечно, проблема согласования локальных и глобальных критериев трудно разрешима даже в формализованных моделях (например, известна проблема согласования критериев по Парето). Однако в сложных системах при принятии решений используются не только формальные модели: системный анализ, в частности, рекомендует сочетание формальных и неформальных моделей, использование методов активизации интуиции и опыта специалистов — лиц, принимающих решения — носителей системы ценностей, которые могут и должны разрешить противоречия с учетом здравого смысла, необходимости сохранения человечества, региона, страны, Земли. И именно в этом большую роль играют рассматриваемые исследования и необходимость их использования при определении «цели-идеала».

Применительно к обществу профессор Санкт-Петербургского государственного технического университета *В. А. Жуков*² предлагает выделять более детализированные уровни развития человека и сообщества:

■ *ситуативное* пространство смыслов, в котором каждый индивид (или социальная группа, народ, регион, страна) рассматривает дру-

¹ Сагатовский, В. Н. Русская идея: Продолжим ли прерванный путь? / В. Н. Сагатовский. — СПб. : Петрополис, 1994. — С. 217.

² Жуков, В. А. Высшая школа — социальный институт или часть культуры? / В. А. Жуков // Политехник. — 1994. — № 27. — 22 дек.

гого (другую общность) инструментально, т.е. как средство для достижения своих целей;

■ *социальное пространство*, в котором личность стремится ставить социально значимые цели (достижение власти, должности, богатства и т.п.), а цели сообщества могут признаваться выше индивидуальных и возможно даже подавление локальных подцелей ради достижения общей цели (такую модель системы или общины, стремящейся к идеалу, предлагают, в частности, *Р. Акофф* и *Ф. Эмери* [13]);

■ *пространство культуры*, в котором другой человек (другое сообщество) рассматривается как партнер по воспроизводству культуры и ее развитию; каждый начинает считаться с правом на существование другого и строить модели своего поведения с учетом этого факта; отношения между людьми (сообществами) решаются не большинством голосов, а взаимным дополнением, во взаимных добровольных уступках, на основе диалога, отвергающего оценочное отношение к партнеру и допускающего право на ошибку;

■ *пространство «вечных смыслов»*, в котором другой человек, народ, страна воспринимаются как неповторимое, самобытное творение, самоценность; для этого пространства характерно не только признание права на существование других, но и интерес к другому, к его системе ценностей, и даже потребность в их заимствовании, объединении в совместных моделях.

Классический капитализм, регламентируемый первой американской конституцией, основанной на философии *Т. Гоббса* (которому принадлежит высказывание «человек человеку — волк»), на индивидуализме, конкуренции, соответствует первому из названных пространств.

Мечтая об общине, стремящейся к идеалу, *Р. Акофф* и *Ф. Эмери* [13] предложили принципы, соответствующие социальному пространству, формулируя на их основе рассмотренную выше систему ценностей.

В большинстве работ цели региона формулируются либо только с учетом развития экономики (на материальном уровне), либо с ориентацией на человека ставятся задачи обеспечения условий жизнедеятельности населения (что раскрывается, опять-таки, в большинстве случаев в рамках экономических проблем и социального обеспечения).

Однако появляются работы, в которых при формулировании целей управления регионом, наряду с задачей «улучшение качества жизни местного сообщества», ставится задача — «увеличение его вклада в развитие страны», т.е. более общей системы, от состояния которой в силу закономерности целостности зависит качество жизни и развитие региона.

В заключение еще раз констатируем необходимость учета при формулировании целей управления городом, регионом, страной закономерности эквифинальности и возможных ее проявлений в форме уровней или пространств типа рассмотренных.

При этом обратим внимание на сложность реализации желаемого уровня на практике, поскольку в силу второй из рассмотренных в гл. 1 закономерностей целеобразования формулирование и реализация целей зависит от внутренних факторов, т.е. от уровня развития населения, проживающего в регионе. Поэтому в задачи управления, особенно местного самоуправления должна входить, как одна из наиболее важных, задача целеобразования — формулирования «цели-идеала», во имя которой нужно повышать производительность труда, увеличивать благосостояние и т.д. И здесь нет готовых рецептов. Важна системность мышления, умение анализировать конкретные ситуации.

Руководителям необходима культура и предостережения от использования готовых формальных моделей или удобных аналогий; необходимо понимать, что спектр ценностных ориентаций лежит между первоначальной «американской мечтой», ориентированной на право частной собственности каждого человека на дом и сад, до мечты *Н. Г. Холодного* о том, что при переходе к мировоззрению антропокосмизма весь мир человека становится его домом.

При формулировании «цели-идеала» руководителям необходимо не осуждение ценностей других народов и не слепое заимствование их, а учет менталитета, ценностных ориентаций своего народа, жителей своего региона.

Для повышения объективности выбора «цели-идеала» полезно учитывать рассмотренные выше закономерности целеобразования. В частности, закономерность зависимости цели не только от требований надсистемы и других внешних факторов, но и от внутренних факторов. А для этого нужно «измерять» уровень подготов-

ленности населения к введению тех или иных нововведений путем социологических опросов, и в качестве одного из приемов, помогающего в целеобразовании, — учитывать рекомендацию о «расщеплении» цели, предложенную **Л. А. Растригиным** [30, 70].

Оригинальную концепцию спиралевидного развития потребностей, проблем и целей развивает **В. В. Качала** [41].

Для уточнения формулировки обобщенной цели-идеала и ее детализации необходимо применять методики структуризации, анализировать варианты структур целей и функций, выбирать из них наиболее значимые для конкретного периода развития системы, что и рассматривается в последующих разделах.

5.2. Первые методики системного анализа целей

Методика ПАТТЕРН

Первой методикой системного анализа, в которой были определены порядок, методы формирования и оценки приоритетов элементов структур целей (названных в методике «деревьями целей»), была методика ПАТТЕРН (PATTERN)¹ [49]. Считается, что инициатором ее создания является **Ч. Дэвис**, вице-президент фирмы «Хониуэлл» корпорации РЭНД (RAND), одной из так называемых думающих, бесприбыльных корпораций, занимающихся разработкой военных доктрин, рекомендаций для выбора проектов новых систем оружия, исследованием военного и научного потенциала «противника», рынков сбыта оружия и т.п. проблемами анализа и прогнозирования развития военного потенциала США.

Назначением, конечной целью создания системы ПАТТЕРН была подготовка и реализация планов обеспечения военного превосходства США над всем миром. Перед разработчиками методики ПАТТЕРН была поставлена задача: связать воедино военные и научные планы правительства США.

¹ От англ. *pattern*: а) шаблон; б) прицел; аббревиатура PATTERN — Planning Assistance Through Technical Evaluation from Relevance Number (помощь планированию посредством относительных показателей технической оценки).

Первые сообщения о методике ПАТТЕРН появились в конце 1963 г.¹ Но в последующем, поскольку этой инициативой фирмы «Хониуэлл» заинтересовалось министерство обороны США, публикации в открытой печати были ограничены, а в дальнейшем, после того как сенатор *Г. Хемфри* выступил в 1964 г. в Конгрессе США с предложением создать на базе идеи ПАТТЕРН Бюро помощи президенту в подготовке решений научно-информационными методами (PASSIM²), открытых публикаций о развитии методики практически не стало.

Принципиальная структура методики ПАТТЕРН приведена на рис. 5.1. В качестве основы для формирования и оценки «дерева целей» разрабатывались «сценарий» (нормативный прогноз) и прогноз развития науки и техники (изыскательский прогноз).

Из первых публикаций известно (см. обзор этих публикаций в [49]) следующее: руководителем первой разработки ПАТТЕРН был *С. Зигффорд*, в группу разработчиков входило 15 высококвалифицированных специалистов, обладающих правом консультироваться с любым работником фирмы и имеющих доступ к любым документам; разработчикам системы предоставлялась возможность консультироваться с сотнями тысяч специали-

стов и десятками фирм (в частности, при практической реализации первого варианта методики разработчики имели право консультироваться с 17 000 специалистами); первоначальная модель ПАТТЕРН потребовала обработки более 160 промежуточных решений; в числе основных исполнителей проекта — НАСА, Министерство обороны США и десятки других организаций, оказывающих влияние на управление страной.

Пример варианта «дерева целей», построенного при выполнении одного из проектов ПАТТЕРН, приведен на рис. 5.2.

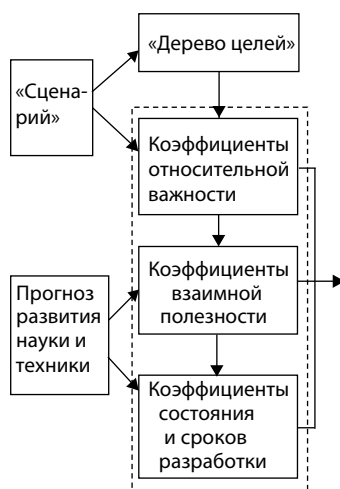


Рис. 5.1

¹ Kushnerick, J. P. Is your research relevant? / J. P. Kushnerick // Aerospace management. — 1963. — Vol. 6. — Oct. — P. 24—29.

² PASSIM — President Advisory Staff on Scientific Information Management.

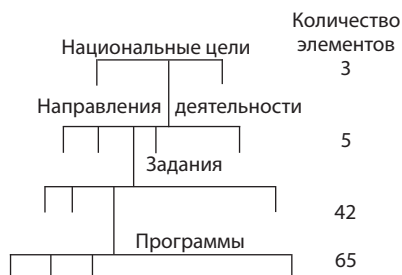


Рис. 5.2

Разным уровням «дерева» давались различные названия. Судя по количеству элементов между уровнями «Задания» и «Программы» существовали не строго древовидные, а «слабые» связи.

В методике ПАТТЕРН предложена усложненная экспертная процедура, в которой выделяются три группы критериев оценки: относительной важности; взаимной полезности;

состояния и сроков разработки («состояние — срок»).

Эти группы критериев применялись для оценки составляющих «дерева целей» и оценки реализации проектов, реализующих цели. Но в последующем разрабатывались и применялись модификации этих видов критериев. Рассмотрим их подробнее.

Оценка относительной важности с учетом нескольких критериев и их весовых коэффициентов. Оценка относительной важности анализируемых компонент осуществляется методом нормирования. Используется нескольких критериев (коэффициентов) относительной важности и учитываются их весовые коэффициенты.

Составляется матрица соответствия элементов, подчиненных узлу, и критериев, принятых при их оценке (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Критерий	Вес критерия	Элементы уровня						
		A	B	C	...	J	...	N
k_1	q_1	s_{a1}	s_{b1}	s_{c1}	...	s_{j1}	...	s_{n1}
k_2	q_2	s_{a2}	s_{b2}	s_{c2}	...	s_{j2}	...	s_{n2}
k_3	q_3	s_{a3}	s_{b3}	s_{c3}	...	s_{j3}	...	s_{n3}
...
k_x	q_x	s_{ax}	s_{bx}	s_{cx}	...	s_{jx}	...	s_{nx}
...
k_m	q_m	s_{am}	s_{bm}	s_{cm}	...	s_{jm}	...	s_{nm}
		r_{ia}	r_{ib}	r_{ic}	...	r_{ij}	...	r_{in}

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения: k_x — наименование критерия; q_x — вес критерия; s_{jx} — относительный вес оцениваемого элемента (по соответствующему критерию); r_{ij} — коэффициент относительной важности j -го элемента i -го уровня.

При заполнении таблицы в автоматизированной процедуре предусмотрена проверка выполнения двух нормализующих логических условий для достижения однородности результатов: нормирование весовых коэффициентов критериев

$$\sum_{x=1}^m q_x = 1 \quad (5.1)$$

и оценок относительной важности оцениваемых компонент по каждому критерию, например, для J :

$$\sum_{j=1}^n s_{jx} = 1. \quad (5.2)$$

Результирующие оценки относительной важности j -го элемента i -го уровня подсчитываются следующим образом:

$$r_{ij} = \sum_{j=1}^m q_x \cdot s_{jx}. \quad (5.3)$$

После окончания обработки оценок производится проверка правильности полученных результирующих оценок

$$\sum_{i=a}^n r_{ij} = 1. \quad (5.4)$$

В многоуровневой иерархической структуре рассмотренная процедура повторяется на каждом уровне для каждого узла иерархической структуры.

В этом случае процедуру оценки начинают с верхнего уровня иерархической структуры, далее перемещаются на следующий сверху уровень, где проводится последовательно оценка по каждому из узлов, затем — на третий сверху с последовательной оценкой по каждому из узлов и т.д. Для получения оценки относительной важности элемента самого нижнего или любого элемента промежуточных уровней иерархической структуры, необходимо умножить оценку элемента r_{ij} интересующего уровня на аналогичные оценки всех элементов-узлов, находящихся между этим элементом и вершиной иерархии.

В реальных условиях процедура оценки организуется, как правило, в форме двух-трех туров. После проведения каждого тура

эксперты знакомятся с результатами оценок коллег. Тем экспертам, мнения которых существенно отличается от других, может быть предоставлена возможность обоснования своей точки зрения. Такая процедура может повысить объективность оценок, побудить некоторых экспертов пересмотреть свои оценки.

Объективность оценок повышается также за счет: расчленения большой неопределенности по критериям; возможности выделения сфер компетентности экспертов для ответа по разным критериям; учета коэффициентов значимости критериев.

Оценка взаимной полезности. В соответствии с идеей методики ПАТТЕРН взаимная полезность представляет собой увеличение научно-технического потенциала для создания одной подсистемы за счет знаний, накапливаемых при разработке другой подсистемы (или нескольких подсистем).

Полный перебор всех компонентов соответствующего уровня «дерева целей» весьма трудоемок. Поэтому в различных вариантах применения методики ПАТТЕРН для решения конкретных проблем предлагались различные варианты сокращения полного перебора сопоставляемых компонентов (например, предлагалось определять коэффициент взаимной полезности относительно двух стоящих справа и слева подсистем, компонентов).

Оценка состояния и сроков разработки («состояние — срок»). Коэффициент «состояние — срок» был введен для оценки состояния разработки и возможных сроков ее завершения.

Эти коэффициенты были введены для оценки возможностей реализации разработок с учетом цикла разработки нового изделия:

теоретические исследования \Rightarrow поисковая разработка \Rightarrow перспективная разработка \Rightarrow техническое проектирование \Rightarrow производственная готовность (или изготовление опытного образца).

Цикл научные исследования — производственная готовность приведен в терминах методики ПАТТЕРН [49]. Его можно уточнять с учетом конкретных проектов и программ.

Коэффициент «состояние — срок» определялся на основе таблиц типа табл. 5.2 и графиков, построенных на их основе типа приведенного на рис. 5.3, на котором по оси абсцисс расположены этапы цикла изготовления нового изделия, а по оси ординат — относительное распределение сил (ресурсов) разработчиков для завершения работ в заданный срок.

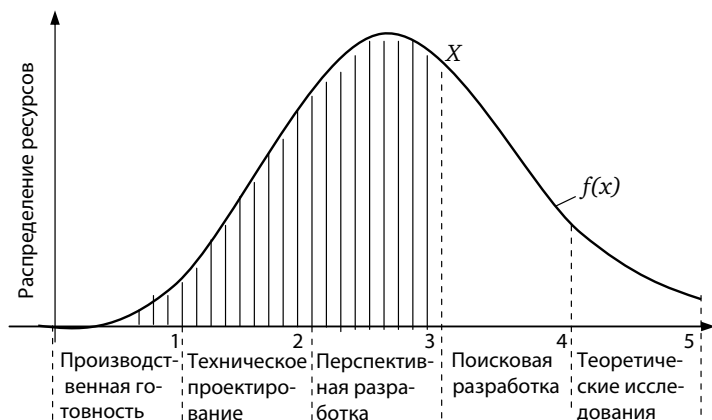


Рис. 5.3

Таблица 5.2

Этапы разработки	Состояние	Срок выполнения этапа разработки, годы
Производственная готовность	X	1
Техническое проектирование		2
Перспективная разработка		2
Поисковая разработка		3
Теоретические исследования		3

В качестве ресурсов можно рассматривать финансовые, материальные, кадровые и т.п. экономические ресурсы, необходимые для выполнения соответствующих этапов разработки.

Кривая на рис. 5.3 построена как функция зависимости ресурсов (например, финансовых расходов, материалов) от типа разработок на соответствующем этапе. Полная площадь под кривой характеризует суммарные затраты ресурса, для которого построена кривая, заштрихованная площадь — расходы, необходимые для завершения разработки.

Коэффициент «состояние — срок» количественно определяется следующим образом:

$$r_s^i = \frac{\int_0^X f(x) dx}{\int_0^S f(x) dx}, \quad (5.5)$$

где $\int_0^S f(x) dx$ — полный расход ресурса, необходимого для разработки; $\int_0^x f(x) dx$ — расходы, необходимые для завершения разработки.

Характер кривой зависит от конкретных проектов и в значительной степени — от субъективных оценок экспертов. Но, тем не менее, польза от построения такого графика очевидна. Появляется возможность определить не только состояние разработки с точки зрения сроков, но и потребность в кадрах для соответствующих этапов, относительный объем финансовых и иных экономических ресурсов.

Кривые такого рода могут быть построены по каждому виду ресурсов, и на их основе можно принимать решения о распределении ресурсов по этапам разработки изделия.

В нашей стране рассматриваемый критерий обычно трактовался как оценка эффективности использования экономических ресурсов.

Практика использования системы ПАТТЕРН показала, что она позволяет проводить анализ сложных проблемных ситуаций, распределять по важности огромное количество данных в любой области деятельности, исследовать взаимное соотношение постоянных и переменных факторов, на которых основываются и на которые влияют принимаемые ими решения.

Система ПАТТЕРН явилась важным инструментом анализа труднорешаемых проблем с большой неопределенностью, прогнозирования и планирования их выполнения. Основные идеи методики применялись в различных областях: научные исследования, проектирование и создание систем различной сложности в научно-исследовательских организациях и на предприятиях, расширение рынков сбыта военнокосмической продукции и т.д. Методика ПАТТЕРН обеспечивала возможность прогнозирования на срок 10—15 лет, что соответствовало «жизненному циклу» становления и старения техники.

Главное достоинство методики ПАТТЕРН состоит в том, что в ней определены классы критериев оценки *относительной важности, взаимной полезности, состояния и сроков разработки* («состояние — срок»).

Эти классы критериев в различных модификациях используются в ряде других методик и до сих пор являются основой при определении системы оценок составляющих структур целей.

Что касается собственно формирования структуры целей, то из опубликованных материалов известно, что в различных модификациях методики разным уровням иерархии предлагается присваивать разные названия (см., например, один из вариантов «дерева целей» ПАТТЕРН на рис. 5.2). Логика же формирования структуры, как отмечали сами авторы, не обрабатывалась.

Не уделялось внимания разработке принципов и приемов структуризации ни в последующих вариантах методики — ПАТТЕРН-МО, НАСА-ПАТТЕРН, ни в других зарубежных методиках — ПРОФИЛЕ, ППБ и т.п. [49, 106].

Ощущая этот недостаток, отечественные ученые с самого начала применения системного анализа основное внимание уделяли разработке принципов и приемов формирования первоначального варианта структуры целей («дерева целей»), составляющие которого подлежат затем оценке и анализу.

В нашей стране работы подобного рода начались с исследования опыта США.

В частности, при реализации системы «МВО¹ прогноз» в Министерстве электротехнической промышленности СССР конечное «дерево целей», отражающее цель развития, основные направления деятельности министерства, области его научных и практических интересов (и т.д., вниз по уровням «дерева»), напоминало «дерево целей» системы ПАТТЕРН, но техника работы с оценками относительной важности несколько отличалась.

В исторической хронологии следует указать работы специалистов ленинградской школы прогнозирования 1971—1973 гг. **В. А. Чабровского, Г. М. Вапнэ**, которые внесли важный вклад в трактовку понятия цели.

В частности, введено важное для практического применения представление о двух различных понятиях цели: «цель деятельности» (актуальная, конкретная цель) и бесконечная «цель — стремление», «цель — идеал»,

¹ Метод взвешенных оценок.

потенциальная цель и высказана идея о единстве цели, средства (варианта) ее достижения и критерия оценки (см. подробнее в [11, 20]).

Первыми работами, в которых предложены не только принципы формирования «дерева целей», но и признаки структуризации, были работы **Ю. И. Черняка** (1973—1975 гг.) [91, 92 и др.].

В частности, им предложены:

- концепция об одинаковой удаленности цели (рис. 5.4) по *пространственной* и *временной* шкале; на рис. 5.5 приведен пример использования этого принципа при формировании структуры целей и функций отраслевой автоматизированной системы управления морским транспортом — ОАСУ «Морфлот» [92]);

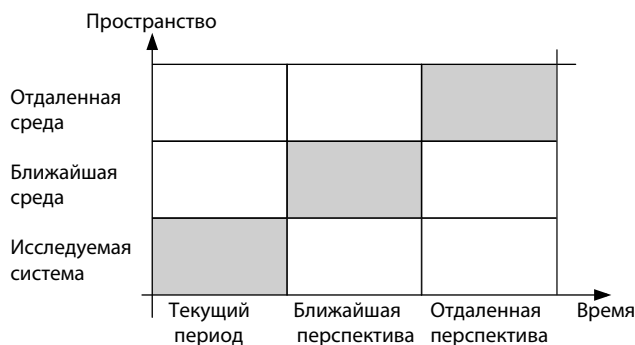


Рис. 5.4

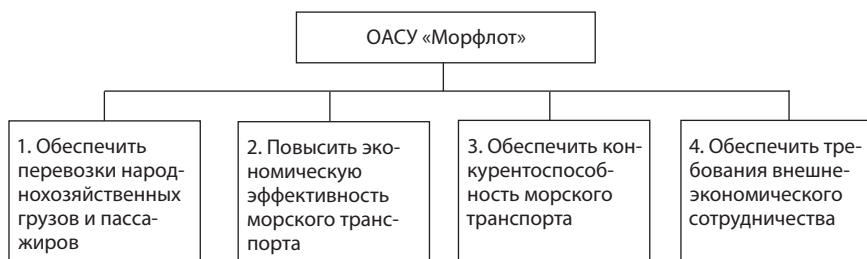


Рис. 5.5

- принцип выделения составляющих на верхнем уровне структуры «дерева» для решения новых, неисследованных проблем

(«что нужно УЗНАТЬ», «что нужно СОЗДАТЬ», «что нужно ОРГАНИЗОВАТЬ» — рис. 5.6);



Рис. 5.6

- принцип «пирамидки» (рис. 5.7), помогающий понять, что выделяемые ветви «дерева целей» характеризуют объем «области цели» (опыт показал, что раскрыть «область цели» помогает последовательное перемещение по граням «пирамидки» с возвратом на новом витке к уже структурированным ветвям с учетом нового видения проблемы) и ряд других приемов и признаков (см. в работе [92]), нашедших широкое применение в практике формирования структур целей при разработке отраслевых АСУ.

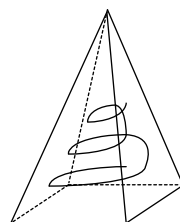


Рис. 5.7

Далее одной из первых методик, ориентированных специально на структуризацию функций систем организационного управления, была методика **С. А. Валуева** [10]. В ее основу положены принципы (рис. 5.8) анализа характеристик организационной системы определение функций, раскрывающих содержание процесса управления, и впервые было предложено учитывать этапы цикла принятия решения (от его подготовки до реализации, оценки и контроля).

Из первых методик следует также упомянуть методики **Е. П. Голубкова** [27], которые ориентированы на структуризацию не только целей и функций, но и на анализ системы в целом.

Много внимания совершенствованию методов обработки результатов экспертной оценки составляющих структур целей (т.е. второму из выделенных в параграфе 2.7 этапов системного анализа) уделялось в работах по прогнозированию.

В конце начального периода разработки принципов и приемов структуризации в разных работах использовались различные признаки структуризации. При этом уделялось внимание не только определению признаков структуризации для разных уровней



Рис. 5.8

системы управления, но и источников информации, необходимых для формирования структуры. На рис. 5.9 приведены признаки структуризации, рекомендуемые для разных уровней системы, и указаны источники информации, которые могут использоваться при формировании разных уровней «дерева целей».

Полученные в ранних методиках принципы и признаки структуризации предложены их авторами на основе накопленного опыта формирования структур целей. Этот подход соответствует основным принципам системного анализа — использование интуиции и опыта специалистов, частичная формализация этого опыта в виде принципов и приемов и использование полученных принципов, приемов и признаков структуризации для активизации, в свою очередь, интуиции и опыта других специалистов, которые формируют структуру целей и функций (ЦФ) в новых условиях для решения новых проблем.

Однако такой подход не гарантирует полноты анализа. Поэтому в дальнейшем в поисках принципов, обеспечивающих полноту структуры целей, исследователи обратились к философскому обоснованию концепции системы, к разработке на этой основе моделей системы, позволяющих отразить эту концепцию и гарантировать полноту структуризации, по крайней мере, в рамках принятой кон-

цепции и моделей, ее отображающих. Охарактеризуем эти методики несколько подробнее и проведем их сравнительный анализ.

Уровни «дерева» ЦФ	Признаки структуризации	Источники научно-технической информации
Верхние уровни (политика)	Концепция системы: — концепция Ю. И. Черняка; — концепция А. И. Уёмова; — концепция, учитывающая взаимодействие системы со средой В. Н. Сагатовского и др. Сферы деятельности. Структура деятельности. Уровни иерархии существующей системы управления	Законы и законодательные акты. Директивные материалы центральных и отраслевых органов управления. Руководящие документы вышестоящих организаций. Информационные материалы по обмену опытом. Материалы социологических опросов и т.д.
Средние уровни (наука)	Виды конечного продукта. Предметы деятельности. Виды деятельности. «Жизненный цикл». Цикл управления и т.д. Конструкция. Технология	Научно-технические отчеты (отчеты по НИОКР). Материалы конференций, совещаний и т.п. Монографии, статьи и т.п. Статьи и другие публикации
Нижние уровни (техника, технология)	Основные элементы системы — ПД, СД, К (см. рис. 5.15). «Часть — целое», «вид — род», «причина — следствие». Структура предложения естественного языка: кто, что, где, с помощью чего, когда и т.д.	Патенты и авторские свидетельства. Отчеты об экспериментах. Растры. Кадастры. Классификаторы. Фактографическая информация о новой технике и технологии

Рис. 5.9

5.3. Методики, базирующиеся на философских концепциях системы

Методика, базирующаяся на двойственном определении системы. Как было показано в гл. 1, **А. И. Уёмов**, определяя систему через понятия «вещь», «свойство», «отношение», предложил двойственное определение [83], в одном из которых свойства q_i характеризуют элементы a_j , а в другом — свойства q_j характеризуют связи (отношения) r_j (1.1e):

$$S \equiv [\{a_i\} \ \& \ \{r_j(q_j)\}];$$

$$\text{def } a_i \in A \quad r_j \in R \quad q_j \in Q_R$$

$$S \equiv [\{a_i(q_i)\} \ \& \ \{r_j\}].$$

$$\text{def } a_i \in A \ q_i \in Q_A \qquad r_j \in R$$

В работах **Б. Д. Кошарского** (см. ссылки в работах [11, 12]) было показано, что этим определениям соответствуют два способа представления системы управления:

процедурное — множество объектов A , на котором реализуется заранее определенные отношения R с фиксированными свойствами Q_R ; при этом, если системообразующее отношение определено во времени, то это представление соответствует структуризации системы по циклу управления: планирование, организация, регулирование, учет и т.п. (набор функций цикла управления изменяется по мере развития экономики и зависит от конкретных условий);

факторное — множество объектов A , обладающее заранее определенными свойствами Q_A с фиксированными между ними отношениями R ; при этом могут быть выделены такие составляющие, как основное и вспомогательное производство, основные и оборотные фонды, трудовые ресурсы, материально-техническое обеспечение и другие объекты управления на предприятии (набор их также определяется конкретными условиями).

Б. Д. Кошарский показал, что каждый из этих способов представления системы в отдельности дает неполное описание системы управления, а для выявления системных особенностей конкретного предприятия необходимо один способ описания дополнить другим, двойственным ему, т.е. что только совместное использование процедурного и факторного представлений системы позволяет обеспечить конкретизацию и полноту анализа целей и задач организационного управления.

Отметим, что это утверждение о полноте справедливо лишь в рамках принятой концепции системы.

Такое требование на практике реализуется либо путем параллельного формирования двойственных вариантов структуры (рис. 5.10) с использованием взаимно обратной последовательности признаков структуризации, либо путем формирования и анализа матрицы «цикл управления — объект управления» (табл. 5.3), после оценки которой формируются двойственные структуры и осуществляется выбор из них наилучшей.

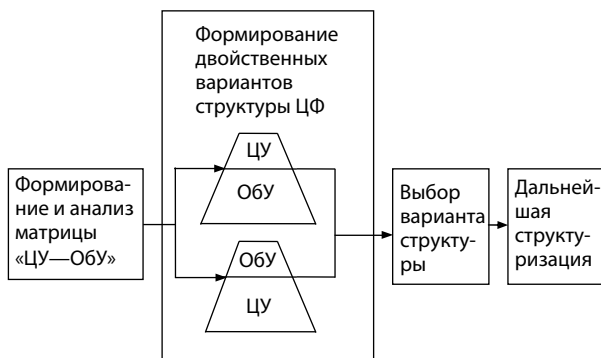


Рис. 5.10

Таблица 5.3

Объект управления (ОбУ) — производственный признак	Цикл управления (ЦУ) — временной признак					
	прогнозирование	перспективное планирование	организация	текущее планирование	оперативное управление	учет. Контроль. Анализ
	ПР	ПП	ОРГ	ТП	ОУ	УКА
Научно-исследовательская работа (НИР)	—	—	—	—	—	—
Производство основной продукции (ОП)	+	+	+	+	+	+
Вспомогательно-обслуживающее производство (ВП)	—	—	—	+	—	+
Транспорт (Т)	—	—	—	—	—	—
Материально-техническое снабжение (МТС)	—	—	—	+	+	+
Трудовые ресурсы (кадры — К)	—	—	—	—	—	+
Сбыт продукции (СБП)	—	—	—	+	—	+
Финансы (Ф)	—	—	—	—	—	—

На рис. 5.11 приведен пример вариантов таких обратных друг другу структур, соответствующих анализу составляющих матрицы (см. табл. 5.3).

В этом примере использовались классификаторы, рекомендованные обычно в справочниках разработчика АСУ, чтобы получить реальную ситуацию, имевшую место при разработке типовой структуры функ-

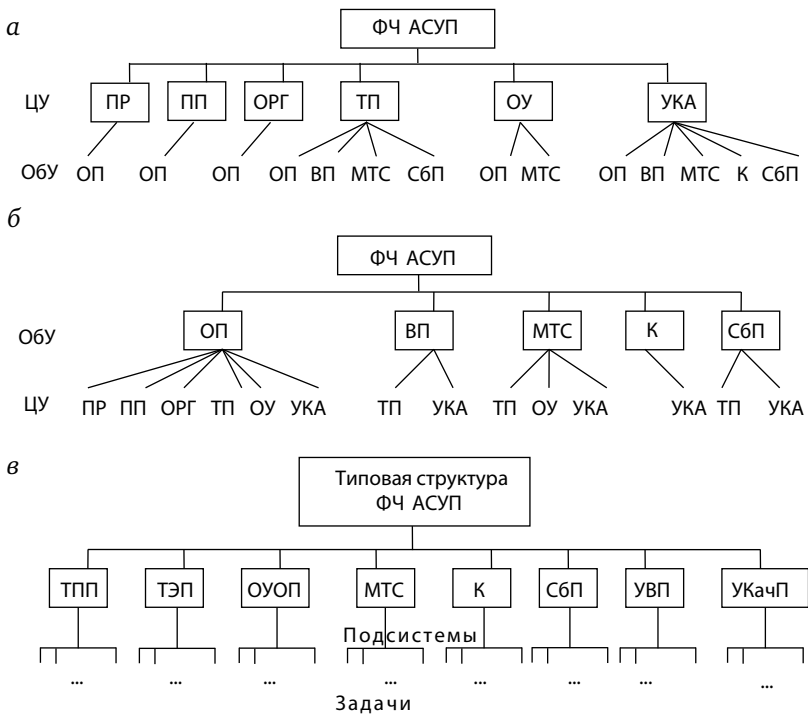


Рис. 5.11

циональной части (ФЧ) АСУП, которая в течение ряда лет была основной разработкой структур ФЧ АСУ многих предприятий.

Полученные структуры анализируют.

Первая структура (рис. 5.11, а) имеет «вырожденные» ветви и не соответствует требованиям, предъявляемым к структурам целей, рассмотренным в гл. 1. Вторая структура (рис. 5.11, б) с этой точки зрения лучше, но в ней одна ветвь (первая, связанная с управлением основным производством) «перегружена» по сравнению с остальными. Если разделить ее, выделив в самостоятельные подцели (подсистемы) техническую подготовку производства (ТПП), технико-экономическое планирование (ТЭП) и оперативное управление основным производством (ОУОП), то структура будет удовлетворять требованию равномерности. Эта структура (рис. 5.11, в) и была положена в основу типовой струк-

туры функциональной части АСУП. В дальнейшем была добавлена подсистема управления качеством продукции (УКачП).

Методика Кошарского — Уёмова нашла широкое применение в различных отраслях при структуризации целей и функций предприятий в процессе разработки структуры функциональной части их автоматизированных систем управления. При этом в ряде случаев подход, положенный в ее основу, оказался столь естественным, что имена первых авторов были забыты, принцип двойственного представления не упоминался, а использовались сразу признаки «цикл управления» и «объект управления».

Методика является удобной для анализа целей и функций действующих предприятий, для которых можно провести обследование существующей системы управления и выявить объекты управления. Однако в ней нет средств для определения новых объектов, новых видов деятельности и функций, связанных с развитием предприятия (внедрением новой техники, технологии и т.п.), что ограничивает применение методики при реконструкции и проектировании новых предприятий.

Методика, основанная на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание. В основе методики лежит определение системы **В. Н. Сагатовского** [66], в котором учитываются понятия цели Z , среды SR и интервала времени ΔT — периода существования системы, влияющего на процесс целеобразования (см. формулу (1.2a)):

$$S \equiv \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle.$$

def

В работе [66] также дано обоснование положенной в основу методики философской концепции системы и используемых для ее раскрытия и определения признаков структуризации системных моделей. Разработана и исследована методика группой ученых томских вузов **Ф. И. Перегудовым, В. З. Ямпольским, Л. В. Кочевым**.

Основные этапы методики соответствуют уровням структуризации, приведенным на рис. 5.12.

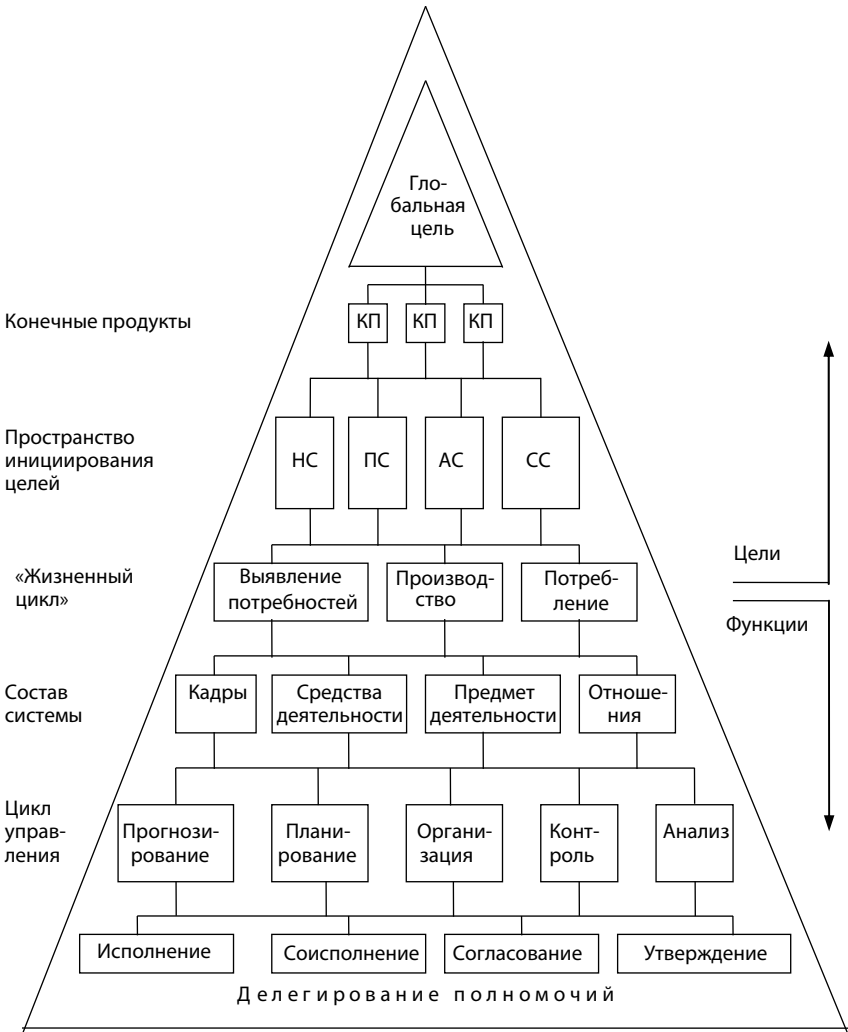


Рис. 5.12

Методика излагается в основном в терминах и формулировках ее авторов, но с некоторыми дополнениями, предложенными ими позднее.

Уровень 1. Формирование глобальной цели системы.

Цель либо задается вышестоящей организацией, либо воссоздается на основе анализа директивных документов. Цель должна быть ориенти-

рована на конечный продукт, для получения которого существует или создается система.

Конечным продуктом может быть любой результат социальной деятельности: материальная продукция, новый научный результат, научная информация и т.д.

Уровень 2. Декомпозиция по признаку «виды конечного продукта» (ВКП).

Осуществляется в тех случаях, когда система производит разные виды конечного продукта. При наличии большого числа разновидностей продукции классификатор по этому признаку может быть двухуровневым.

Виды конечного продукта зависят от того, для чего строится структура целей. Если речь идет о производстве, то конечным продуктом является выпускаемая продукция, а если структура целей строится для аппарата управления, — то это планы, решения и другие нормативно-методические документы, обеспечивающие выпуск соответствующего вид продукции.

Уровень 3. Декомпозиция по признаку «пространство инициирования целей» (ПИЦ).

Формируются подцели исследуемой системы, иницируемые требованиями и потребностями окружающей среды, влияющей на производство конечного продукта системы.

При этом все системы, с которыми взаимодействует исследуемая система в процессе производства конечного продукта, делятся на четыре класса (рис. 5.13):

■ *надсистема* (НС) или *вышестоящие системы* (ВС), формулирующие главные требования к конечному продукту (и потребности в нем);

■ *нижестоящие* или *подведомственные системы* (ПС), требования которых выступают в основном в качестве ограничений на свойства конечного продукта или потребностей в организации ремонта и других видов обслуживания материально-технической базы для производства конечного продукта;

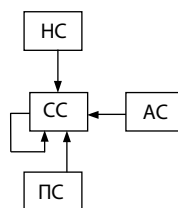


Рис. 5.13

■ *существенная, или актуальная, среда (АС)*, т.е. системы, которые имеют отношение к производству конечного продукта проектируемой или исследуемой системы¹;

■ *исследуемая собственно система (СС)*, подцели которой инициируются собственными (внутренними) потребностями, мотивами, программами, постоянно возникающими в развивающейся системе и также трансформирующимися в требования к конечному продукту.

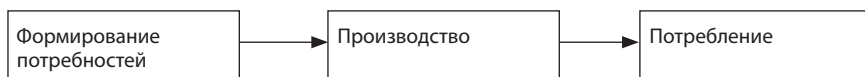
Отметим, что этот признак структуризации базируется на закономерности коммуникативности, рассмотренной в гл. 1.

Уровень 4. Декомпозиция по признаку «жизненный цикл».

Определяются различные подэтапы получения конечных продуктов в зависимости от их видов — от формирования или прогнозирования потребностей в продукте до потребления или поставки заказчику (см. примеры на рис. 5.14).

Начиная с этого уровня декомпозиции обычно становится удобнее оперировать не термином «*подцель*», а термином «*функция*» и считать, что «*дерево целей*» как бы перерастает в «*дерево функций*».

а



б

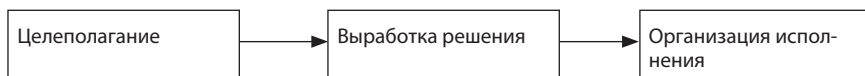


Рис. 5.14

Уровень 5. Декомпозиция по признаку «основные элементы (состав) системы» (СС), в результате которой формируются функции, вытекающие из потребностей основных элементов системы, которые объединяются в три основные группы — *кадры К, предмет деятельности ПД и средства деятельности СД* (рис. 5.15),

¹ В дальнейшем **В. Г. Колосовым** была предложена идея выделения *дружественной* (поставщики, потребители, аналогичные предприятия, с которыми сотрудничает рассматриваемая система), *конкурентной* (предприятия, выпускающие аналогичную продукцию или поставляющие ее на рынок из других стран или регионов) и *безразличной* среды, которая на данном этапе является нейтральной, но которая со временем может стать дружественной или конкурентной.

на практике иногда вызывает затруднения, и этот признак бывает удобно интерпретировать как «объекты деятельности» (основной — ПД и обеспечивающей — СД, К и другие ресурсы системы).

Уровень 6. Декомпозиция по признаку «управленческий цикл», классификатор которого, предлагаемый авторами методики, приведен на рис. 5.12.

Уровень 7. Декомпозиция по признаку «делегирование полномочий», классификатор по которому также приведен на рис. 5.12.

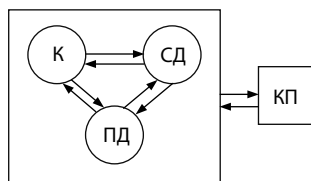


Рис. 5.15

Рассматриваемая методика развивалась. В первоначальном ее варианте было пять уровней декомпозиции. Позднее добавилось еще два. В зависимости от приложений менялась последовательность признаков: во многих приложениях удобнее на первое место вынести признак «пространство инициирования целей», помогающий уточнить «виды конечного продукта». По-разному можно раскрывать «жизненный цикл» системы (рис. 5.14).

Методика нашла наиболее широкое применение из всех рассматриваемых: она использовалась при разработке «дерева целей» управления хозяйством области; при формировании структуры функциональной части территориальной АСУ Томской области; структуры ФЧ отраслевой АСУ (ОАСУ) Минвуза РСФСР; при ректировке организационной структуры Минвуза и т.д.

Наибольшее распространение получили первые три признака структуризации (т.е. признаки формирования собственно структуры целей, и особенно признак «пространство инициирования целей», в основе которого лежит закономерность коммуникативности (разделяющая сложную среду на надсистему НС, подведомственные системы ПС, актуальную среду АС, и внутреннюю среду — собственно систему СС, постоянно изменяющуюся в развивающейся системе).

Получаемые с помощью этой методики структуры цели и функций существенно полнее, чем при использовании предыдущей.

Пример структуры приведен на рис. 5.16.

Анализ пространства инициирования целей заставляет обратить внимание на необходимость поддержания в работоспособном состоянии оборудования, организацию ремонта, изготовле-

ние специнструмента, спецоснастки и другие функции, обусловленные потребностями подведомственных систем, а также на функции координации и кооперирования с предприятиями и организациями актуальной среды, что иллюстрируется примерами, приведенными на рис. 5.16 — для управления выпуском продукции на государственном предприятии и в гл. 9 — при формировании структуры функциональной части АСУП.

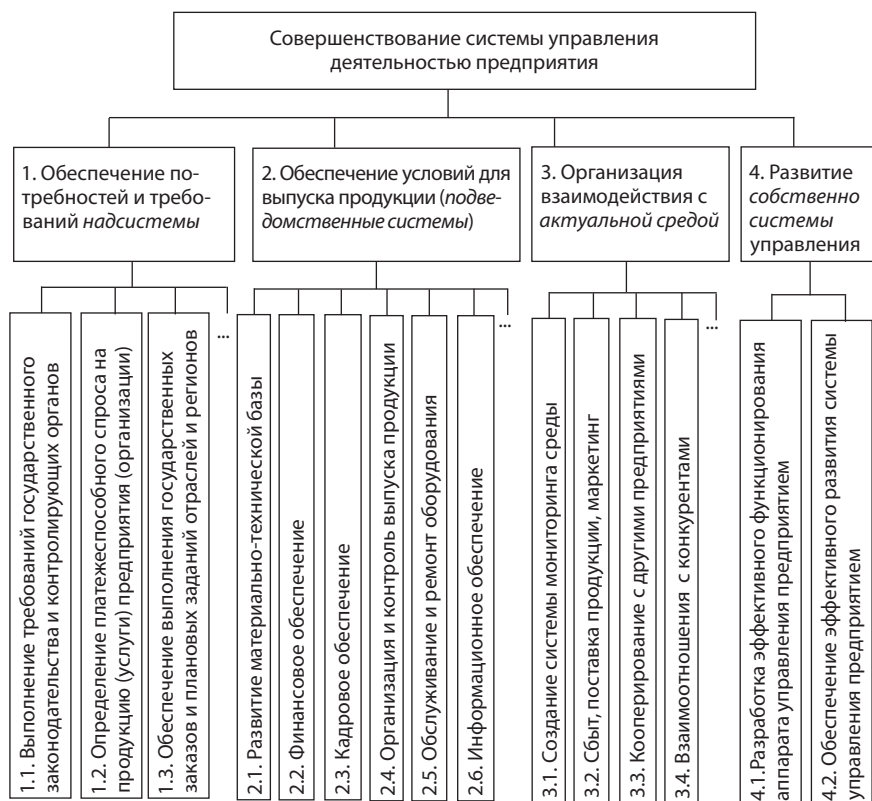


Рис. 5.16

Таким образом, благодаря большей полноте определения системы, данного **В. Н. Сагатовским**, по сравнению с двойственным определением системы **А. И. Уёмова** и раскрытию этого определения в хорошо отработанной совокупности признаков структу-

ризации и на примерах классификаторов по этим признакам, рассматриваемая методика обеспечивает большую полноту анализа целей и функций систем управления по сравнению с предыдущей методикой, помогает выявлять новые, ранее не выполнявшиеся на предприятии функции. Методика является хорошим средством анализа целей и функций в условиях развития предприятия (организации), при внедрении в производство и управление различного рода нововведений, техническом перевооружении и реконструкции или проектировании новых предприятий.

В установившемся же режиме функционирования предприятия эта методика может оказаться избыточной. Кроме того, возникают затруднения при определении «видов конечного продукта» четвертой ветви (собственно системы управления), для структуризации которой оказалась удобной следующая методика.

Методика, базирующаяся на концепции деятельности. Понятие деятельности в той или иной форме используется в любой методике структуризации, разрабатываемой для отображения и анализа организационных систем управления. В то же время есть методики, в которых концепция деятельности является основой формирования структур целей, т.е. используется на верхних уровнях структуры.

Представления о деятельности и ее структуре развивались. Соответственно и методики, базирующиеся на концепции деятельности, используют разные точки зрения на ее структуру. В рассматриваемой методике, предложенной одним из авторов учебника при разработке основных направлений и проблематики перспективных научных исследований по проблемам высшего образования [22, 23], используется концепция деятельности, принятая в педагогике и психологии.

В методике предусмотрено два основных этапа (рис. 5.17), которые делятся на подэтапы, а последние, в свою очередь, — на более детальные подэтапы.

При выполнении этапа 1 (см. рис. 5.17) используется одновременно два подхода к формированию первоначального варианта структуры: *целевой*, т.е. подход к формированию структуры «сверху» (подэтап 1.1) и подход, который называют *морфологическим*, *лингвистическим*, *тезаурусным*, т.е. формирование структуры «снизу» (подэтап 1.2).

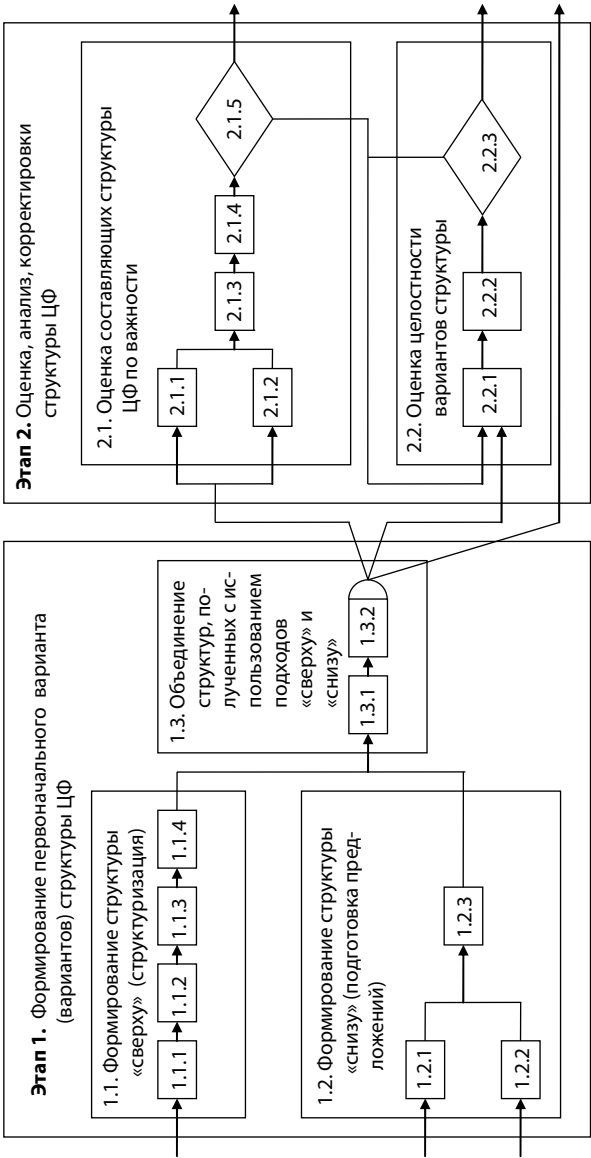


Рис. 5.17

При выполнении подэтапа 1.1 выбирается число уровней иерархии (подэтап 1.1.1), которым для удобства присваиваются разные наименования (направления, комплексные проблемы, проблемы, подцели, функции); в соответствии с принятой в методике концепцией деятельности используются признаки «сферы деятельности» (подэтап 1.1.2), «структура деятельности» и «вид деятельности» (подэтап 1.1.3); последующие уровни структурируются с использованием признаков, рекомендуемых на рис. 5.18 для нижних уровней (подэтап 1.1.4).

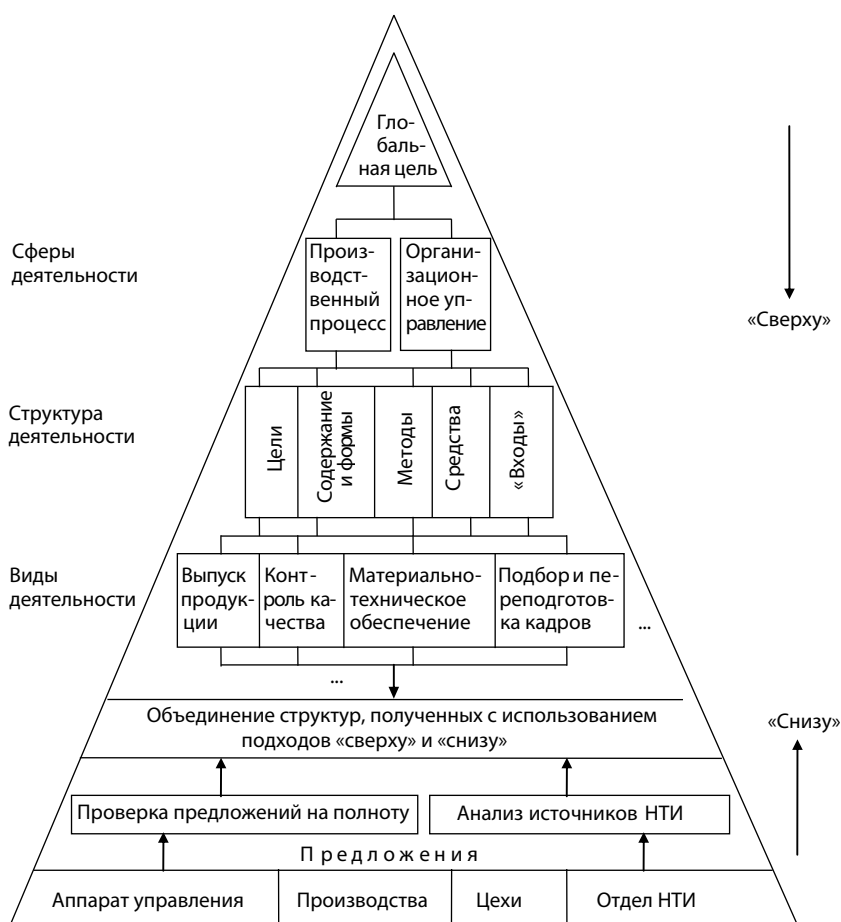


Рис. 5.18

В структуре деятельности выделяются *цели* («выходы»), *содержание и формы, методы, средства*, «входы». Признаки «структура деятельности» и «вид деятельности» можно менять местами и «смешивать» в пределах уровня (как это сделано при формировании структуры основных направлений научных исследований по проблемам высшей школы [22]).

При выполнении подэтапа 1.2 (подход «снизу») предложения формируются параллельно: предлагаются работниками структурных подразделений различных уровней системы управления (подэтап 1.2.1) и получаются на основе анализа научно-технической информации (подэтап 1.2.2), затем проводится оценка предложений на полноту (подэтап 1.2.3); далее на подэтапе 1.3 осуществляется объединение структур (подэтап 1.3.1), полученных при параллельном применении подходов «сверху» и «снизу», путем как бы наложения предварительно сформированной структуры на перечень полученных предложений, и принимается решение (подэтап 1.3.2) о целесообразности выполнения этапа 2.

Пример верхних уровней структуры целей, полученных с использованием рассматриваемой методики, приведен на рис. 5.19.

Вторая ветвь на рис. 5.19 может использоваться для уточнения четвертой ветви структуры, приведенной на рис. 5.16, для структуризации которой не было средств в предыдущей методике.

При выполнении этапа 2 (см. рис. 5.17) для оценки структуры целей и функций путем выявления наиболее значимых составляющих (подэтап 2.1) предлагается параллельно использовать экспертные оценки (подэтап 2.1.1) и косвенные количественные оценки (подэтап 2.1.2), которые затем обрабатываются совместно (подэтап 2.1.3).

При экспертной оценке в качестве критериев используется система критериев, аналогичная принятой в методике ПАТТЕРН, но с некоторыми модификациями: в ней предлагаются следующие группы критериев — относительной важности (значимости), взаимосвязанности, экономические оценки (последняя — заменяет группу критериев «состояние — срок»). Идея косвенных количественных оценок предложена автором данной главы. Возможность их введения вытекает из анализа иерархических структур на основе информационного подхода (см. гл. 3), из результатов которого следует, что структурированность ветвей иерархической структуры определяет придаваемую им фактическую значимость.

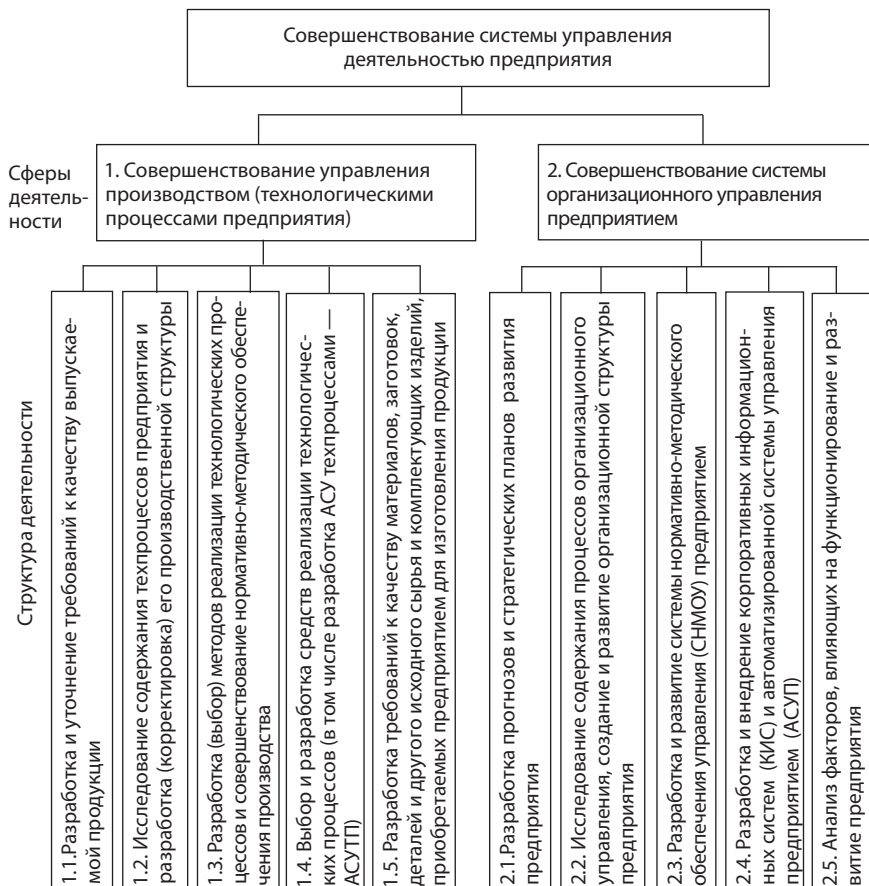


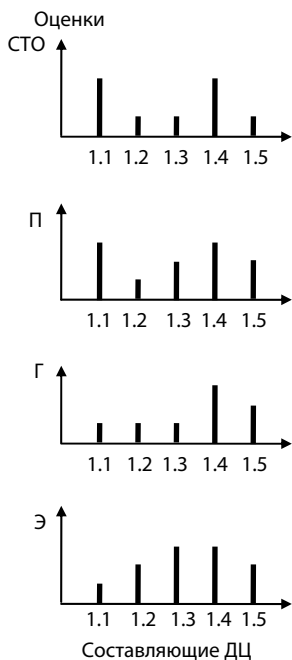
Рис. 5.19

В качестве косвенных количественных оценок могут быть использованы: число подразделений, выполняющих данную функцию, число документов, подготавливаемых для реализации функции, структурированность ветви (например, число тем, на которые разделена проблема), внимание к соответствующим подцелям и функциям в директивных документах, периодической печати, источниках НТИ и т.п. При выборе косвенных количественных оценок следует учитывать «пространство инициирования целей и факторов», т.е. учитывать требования и потребности надсистемы, отраженные в законодательных актах и директивных документах, аналогичных предприятий актуальной среды, инте-

ресы подведомственных подразделений, инициативы структурных единиц собственно системы управления.

При обработке результатов оценки применяются не только традиционные методы усреднения, но и осуществляется выявление противоречивых мнений с последующим содержательным анализом этих оценок.

При этом для сопоставления оценок удобно применять графические представления в виде гистограмм, подобных тем, кото-



Критерии: СТО — статистическая отчетность, подготовка справок, ответы на запросы вышестоящих органов управления; П — число подразделений, запрашивающих информацию для принятия решений; Г — число публикаций в газетах и других периодических изданиях; Э — экспертные оценки

Рис. 5.20

рые приведены на рис. 5.20. Пример анализа результатов оценок, представленных графически на рис. 5.20, приведен ниже в примечании к этапу 2.

На основе полученных результатов оценки исходная структура корректируется (2.1.4): составляющие, получившие наименьшие оценки значимости по сравнению с другими и при этом не получившие высоких оценок связности с высокозначимыми, либо исключаются из структуры ЦФ, либо опускаются на нижележащие уровни иерархии, и, напротив, составляющие, получившие высокие оценки значимости, могут быть перенесены на более высокие уровни иерархической структуры. При такой корректировке могут возникнуть вырожденные ветви, разные варианты новой структуры целей и функций. В последнем случае следует перейти к подэтапу 2.2.

Решение о целесообразности перехода к анализу структуры с точки зрения централизации — децентрализации управления (подэтап 2.2.2) может быть принято (подэтап 2.1.5) и в случае одного варианта структуры для того, чтобы сопоставить ее с аналогичными структурами целей (основных направлений развития) других предприятий или со структурой основных направлений предшествующего периода развития предприятия (организации).

Оценка структуры (вариантов структуры) с точки зрения ее формы и удобства для дальнейшего использования (подэтап 2.2). Сопоставление вариантов структуры может производиться на основе требований к структурам ЦФ, сформулированных при выполнении подэтапа 1.1.1 (2.2.1) и с использованием для сравнительного анализа структур информационного подхода (подэтап 2.2.2). Во втором случае оценивается степень целостности, позволяющая судить об управляемости предприятия с помощью разрабатываемой структуры целей, о степени централизации-децентрализации управления.

Можно использовать оба подхода к оценке вариантов структур, а затем — результаты обобщать (тогда нужно добавить подэтап 2.1.3). В случае, если на подэтапе 1.6.2 было принято решение о том, чтобы вначале выполнять подэтап 2.2, может быть введен подэтап принятия решений о дальнейшем ходе работ (2.2.3).

Для сбора и обработки экспертных и косвенных количественных оценок и сравнительного информационного анализа структур следует создать группу соответствующих специалистов. В необходимых случаях может быть использован метод организации сложных экспертиз, базирующийся на информационном подходе.

Примечание к этапу 2. При совпадении оценок составляющие следует считать наиболее значимыми (на рис. 5.20 — проблема 1.4). При несовпадении — проводить дополнительный качественный анализ. Например, на 1.2 (производственная структура) обратили особое внимание только эксперты, т.е. имеет место редкое мнение, и целесообразно провести дополнительную экспертизу, лучше с обсуждением на научно-техническом совете. Напротив, проблему 1.5 (комплектующие) недооценивают вышестоящие органы управления, и можно обратить их внимание на необходимость участия в ее решении. А по проблеме 1.3, по которой имеются наибольшие разногласия и наименьшая подготовленность предприятия, целесообразно провести НИР.

Методика структуризации целей системы, стремящейся к идеалу. Р. Акофф и Ф. Эмери предложили вынести на верхние уровни структуры целей для системы (в их терминологии — *общины*), стремящейся к идеалу, следующие составляющие (рис. 5.21) [13]:

изобилие (политико-экономическая функция);

правда (познание истины, поиски ценностных ориентаций общества, научная и образовательная функция);



Рис. 5.21

добро (функция разрешения внутриличностных и межличностных конфликтов и конфликтов между социальными коллективами, т.е. этика, религия, юриспруденция и др.);

красота (функция эстетики, обеспечивающая не только отдых, но и формирование личности, гражданственности, механизмов целобразования).

В методике предусмотрен принцип *фрактальности*, т.е. структуризации каждой ветви нижележащего уровня с использованием составляющих соседних уровней. Например, у функции организации науки есть политико-экономическая сфера, научная этика, эстетика.

Эта методика позволяет обеспечить полноту структуризации таких организаций, цели и функции которых должны охватывать разносторонние условия существования и развития личности.

Например, ее применяют при структуризации функций системы управления городом, регионом, школой, детскими дошкольными учреждениями и т.п. При разработке структуры целей и функций районной или городской администрации полезно сочетать эту методику с другими.

Сравнительный анализ методик структуризации целей. Приведенные примеры методик структуризации целей и функций подтверждают закономерности целостности и иерархичности, согласно которым одну и ту же систему, а соответственно, и ее цель, можно представлять разными структурами, по-разному раскрывать неопределенность целостности. Различие структур определяется принятой концепцией системы и предпочтениями ЛПР, ее формирующих.

При сопоставлении и сравнительном анализе методик структуризации целей прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что только в методике ПАТТЕРН и в методике, базирующейся на концепции деятельности, в явном виде предусмотрен этап оценки структуры целей с использованием сформулированных критериев. В авторском же изложении других методик о втором этапе даже не упоминается. Правомерно ли существование методик без этого этапа?

Ответить на этот вопрос помогает информационный анализ структур, который показывает, что структурированность ветвей является отражением предпочтений ее авторов, т.е. оценка структур фактически осуществляется не только при выполнении второго этапа, но и в процессе формирования структуры на первом этапе. Причем, чем больше уровней структуризации предусмотрено в методике, тем более дифференцированными являются оценки вышестоящих уровней этой структуры: формируя каждый уровень, ЛПР оценивают ее составляющие на основе оценок «включить — не включить» в структуру (т.е. по двоичной системе). А оценки потенциала H , получаемые для узлов вышестоящих уровней, представляют собой основу для более точного сравнения составляющих этих уровней.

Иными словами, на каждом шаге структуризации осуществляются практически оба этапа, но оценка проводится не в форме спе-

циально организованной экспертной процедуры опроса (с использованием методов ранжирования, нормирования и т.п.), а путем исключения из дальнейшего рассмотрения малозначимых составляющих.

При этом ЛПР следует учитывать назначение, особенности конкретного предприятия, так как их оценки даже по двоичной системе содержат качественную составляющую, а уточненные оценки H верхних уровней становятся более дифференцированными и в ряде практических ситуаций оказываются вполне достаточными для принятия управленческих решений по распределению финансов, кадров и других средств для реализации подцелей и функций.

Сказанное означает, что второй этап методики в ряде случаев можно и не выделять особо, если ориентировать ЛПР на более тщательный отбор составляющих на каждом шаге структуризации. Однако в общем случае, для обеспечения полноты анализа структуры целей и функций все же целесообразно предусматривать этап оценки в явном виде, тем более, что может оказаться необходимым сопоставлять несколько вариантов структур, сформированных ЛПР, которые даже при использовании одной и той же методики структуризации могут отличаться в силу закономерности иерархичности.

Сравнивая методики с точки зрения положенных в их основу концепций, можно дать некоторые рекомендации по их выбору в конкретных условиях. Так, концепция двойственного определения системы А. И. Уёмова ориентирована на описание статики системы, фиксацию уже достигнутых представлений о ней у ЛПР. Она, разумеется, допускает включение новых объектов управления, изменение функций в цикле управления (что и происходит по мере развития методики), однако в ней нет средств, которые помогали бы выявить новые объекты, функции, виды деятельности, такие, как внедрение новой техники, технологии, нововведений в управленческой деятельности. Методику, основанную на концепции системы, учитывающей ее взаимодействие со средой, полезно применять на этапах развития системы, пересмотра производственной и организационной структур, при проектировании новых предприятий. Она помогает выявить новые виды деятельности, объекты управления.

Необходимость в использовании методики, базирующейся на концепции деятельности, возникает в тех случаях, когда иссле-

дуемый или создаваемый объект недостаточно изучен, т.е. в случаях постановки новых проблем, структуризации целей развития новых видов деятельности. Методика *Р. Акоффа* и *Ф. Эмери* помогает обеспечить полноту выявления подцелей и функций для системы управления районом, городом, для управления непромышленной деятельностью предприятия (культурно-бытовыми, детскими учреждениями и другими учреждениями социальной сферы).

Таким образом, при выборе и разработке методики структуризации целей и функций системы управления нужно учитывать следующие особенности:

- 1) состояние системы (находится ли она в стабильном состоянии, либо, в связи с реконструкцией производства, перестройкой системы управления, изменением принципов организации экономики и т.п., требуется существенный пересмотр ее целей и функций, либо система еще мало исследована);
- 2) характер анализируемого вида деятельности;
- 3) степень познания объекта (т.е. имеющиеся представления о нем у лиц, формирующих структуру ЦФ);
- 4) отведенный период времени на проектирование или преобразование системы управления (влияющий на возможность выполнения методики в полном объеме, включая оба этапа) и т.п.

Поэтому целесообразно иметь обобщенную методику формирования и анализа структур целей и функций, которая включала бы несколько методик структуризации, несколько методов оценки структур (при выполнении второго этапа) и предусматривала возможность выбора методики получения первоначального варианта (вариантов) структуры и методов его оценки, наиболее подходящих для соответствующего периода развития предприятия и его системы организационного управления, с учетом характера, объемов и других конкретных особенностей создаваемого предприятия (организации). Такая методика может стать основой для формирования конкретных методик для проектируемых или преобразуемых предприятий (организаций). Структура и содержание основных этапов этой обобщенной методики изложены в параграфе 5.4.

5.4. Разработка методик структуризации целей

Обобщенная методика анализа целей и функций систем управления

Общие положения. Сравнительный анализ подходов и методик структуризации целей (см. параграф 5.3) позволил сделать еще один шаг вперед и попытаться

создать обобщенную, комплексную методику анализа параметров сложных систем, их целей, направлений деятельности, функций, задач и т.д.

В рассматриваемой обобщенной методике предусмотрена возможность использования различных методик структуризации при формировании первоначального варианта структуры целей (основных направлений деятельности, развития) системы, несколько способов оценки вариантов будущих структур и в конкретных условиях выбор методики структуризации и методов оценки с учетом особенностей предприятий или организаций, периода их развития.

Обобщенная методика помогает при разработке методик для анализа целей конкретных предприятий (организаций, регионов), войти в состав нормативно-методического обеспечения систем управления как средство разработки основных направлений развития предприятий (организаций) и анализа целей и функций при корректировке организационной структуры.

Структура методики приведена на рис. 5.22. Кратко охарактеризуем ее этапы.

Этап 1. Формирование первоначального варианта (вариантов) структуры целей (основных направлений развития) и функций системы управления предприятием (объединением, организацией).

Подэтап 1.1. Определение принципов и выбор подхода к формированию структуры целей и функций (ЦФ) системы управления.

Для обоснования выбора подхода к формированию структуры целей и функций вначале принимается решение о необходимой степени обновления производства и системы управления и, соответственно, о необходимой полноте анализа ЦФ (подэтап 1.1.1); затем готовится краткая справка о состоянии и перспективах развития производственных мощностей предприятия, а также о перспективах развития смежных предприятий, с которыми взаимодействует дан-

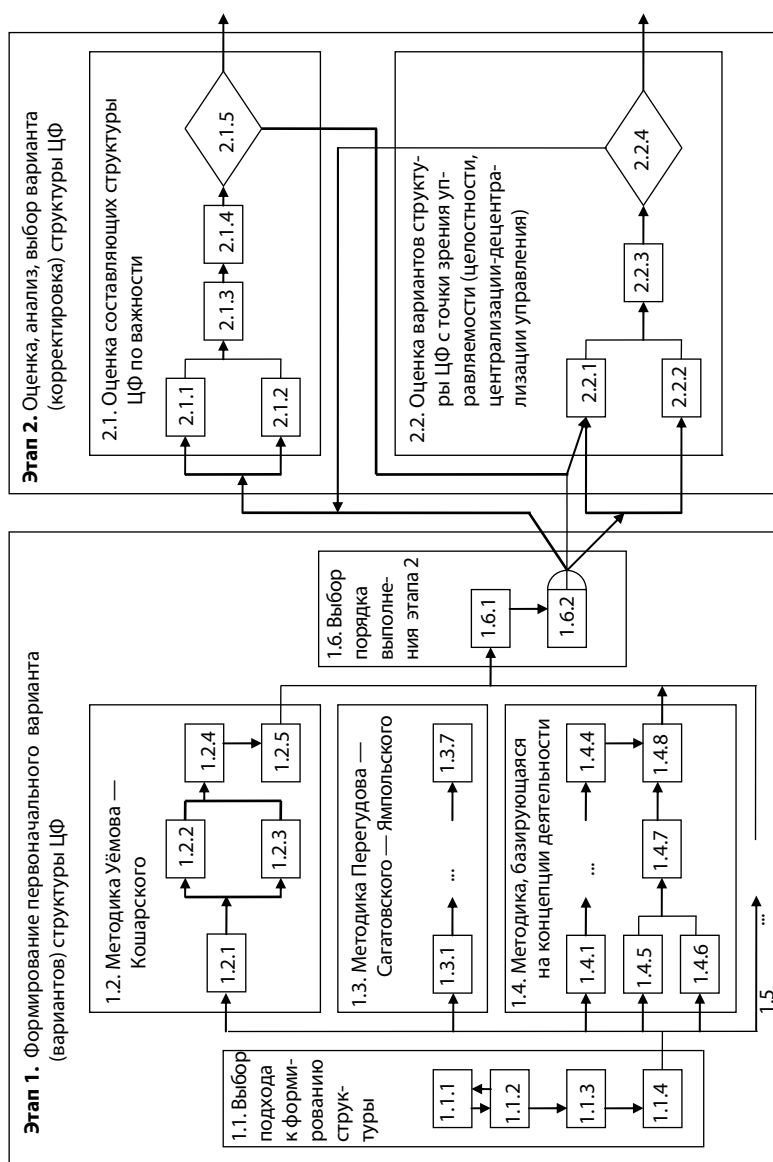


Рис. 5.22

ное в процессе производства основной продукции (подэтап 1.1.2); разрабатывается концепция формирования структуры ЦФ (подэтап 1.1.3), учитывающая результаты, полученные при выполнении подэтапов 1.1.1 и 1.1.2; и на этой основе осуществляется выбор подхода к формированию структуры ЦФ (подэтап 1.1.4).

Подэтапы 1.1.1 и 1.1.2 могут выполняться параллельно и взаимно влиять друг на друга. При проектировании нового предприятия подэтап 1.1.1 формулируется иначе; разрабатывается концепция организации производства и системы управления и принимается решение о необходимой полноте анализа ЦФ.

При разработке концепции формирования структуры ЦФ (подэтап 1.1.3) определяются принципы формирования структуры, в качестве которых могут быть приняты: полнота охвата системы, равномерность структуризации, учет гипотезы Миллера, единство признака структуризации в пределах уровня, недопустимость «вырожденных» ветвей и другие требования к структурам ЦФ, изложенные в гл. 1.

При выборе подхода к формированию структуры ЦФ (подэтап 1.1.4) следует учитывать степень обновления системы управления, характер проектируемого или реконструируемого предприятия, резерв времени на формирование структуры ЦФ, квалификацию лиц, формирующих структуру, и другие особенности конкретных ситуаций принятия решений, которые должны быть изложены в концепции системы. Принципы выбора методики структуризации целей, изложенные в предыдущем параграфе, должны быть приведены в методике или в приложении к ней.

Подэтап 1.2. Применение методики, базирующейся на двойственном определении системы.

Формируется матрица «цикл управления — объект управления» (подэтап 1.2.1); на основе оценки элементов матрицы строятся двойственные варианты структуры ЦФ с обратной последовательностью признаков структуризации (подэтапы 1.2.2 и 1.2.3); проводится сравнительный анализ этих вариантов (подэтап 1.2.4) с использованием либо требований, сформулированных при выполнении подэтапа 1.1.3, либо с применением информационного подхода к сравнительному анализу структур; осуществляется дальнейшая структуризация выбранного варианта (подэтап 1.2.5).

Подробнее методика охарактеризована в параграфе 5.3, и эту характеристику методики следует поместить в приложение при оформлении общей методики в качестве документа.

Подэтап 1.3. Применение методики, базирующейся на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание.

Производится формирование структур ЦФ с использованием признаков структуризации «пространство инициирования целей», «виды конечного продукта», «жизненный цикл», «состав системы» и других, приведенных на рис. 5.12.

Подэтапы 1.3.1—1.3.7 соответствуют семи признакам этой методики (см. в параграфе 5.3) и выполняются последовательно. В приложении целесообразно изложить методику.

Подэтап 1.4. Применение методики, базирующейся на концепции деятельности.

Подэтапы 1.4.1—1.4.4 реализуют подход к формированию структуры «сверху» с использованием признаков «сферы деятельности», «структура деятельности», «вид деятельности» (см. рис. 5.17, 5.18) и признаков, приведенных на рис. 5.9.

Подэтапы 1.4.5—1.4.7 обеспечивают формирование предложений о функциях системы управления, поступающих от работников различных уровней системы управления и получаемых на основе анализа НТИ (т.е. реализуют подход «снизу»). Подэтап 1.4.8 объединяет результаты, полученные при параллельном применении подходов «сверху» и «снизу», путем как бы наложения предварительно сформированной структуры на перечень полученных предложений.

Более подробно подэтапы охарактеризованы в параграфе 5.3 и на рис. 5.17, 5.18. Основы методики следует привести в приложении.

Подэтап 1.5. Формирование структуры ЦФ на основе представлений ЛПР и обследования существующей системы управления.

При выполнении подэтапа могут применяться подходы «сверху» и «снизу». ЛПР могут предложить свои варианты структуры ЦФ (подэтап 1.5.1), сформированные без осознанного применения методики структуризации, могут быть использованы варианты структур ЦФ других предприятий или организаций, прием Акоффа — Эмери (подэтап 1.5.2). Перечни функций можно получить на основе различных подходов к обследованию предприятий (организаций); с использованием архивного и опросного подходов, т.е. пассивного обследования (подэтап 1.5.4) либо с применением активного подхода путем представления опрашиваемым вариан-

тов структур или перечней функций (подэтап 1.5.3). Все подэтапы могут выполняться параллельно и влиять друг на друга.

Получаемые при выполнении подэтапов 1.5.1—1.5.4 результаты объединяются (подэтапы 1.5.5, 1.5.6).

При выполнении подэтапа 1.5.3 можно использовать автоматизированную диалоговую процедуру обследования, разработав ее или адаптировав автоматизированную диалоговую процедуру анализа целей и функций, рассматриваемую в параграфе 5.6.

Подэтап 1.6. Обобщение результатов выполнения подэтапов 1.2—1.5 и принятие решения о дальнейшем ходе работ.

При проектировании предприятий и при совершенствовании систем управления крупными предприятиями (объединениями, организациями) для гарантии полноты анализа ЦФ целесообразно использовать параллельно несколько методик структуризации, которые затем следует представить ЛПР для сопоставления и, возможно, исключения некоторых полученных структур из дальнейшего рассмотрения (подэтап 1.6.1). Если после выполнения предшествующих подэтапов получена одна структура, то подэтап 1.6.1 можно не выполнять. Далее (подэтап 1.6.2) принимается решение о целесообразности и последовательности выполнения этапа 2. Если вариантов структуры ЦФ несколько, то вначале следует перейти к выполнению подэтапа 2.2, т.е. к сравнительному анализу вариантов структуры ЦФ, а после выбора варианта — к подэтапу 2.1. Если же вариант один, то следует перейти к выполнению подэтапа 2.1. Может быть принято решение о нецелесообразности выполнения этапа 2.

Примечание к этапу 1. При выполнении подэтапов 1.2—1.5 следует учитывать закономерности целеобразования, с которыми должны быть ознакомлены ЛПР. В соответствии с этими закономерностями, в частности, в качестве ЛПР должны выступать руководители разных уровней системы управления предприятием или будущие руководители создаваемого предприятия; лица, принимающие решения, должны осознать влияние на формирование подцелей внешних и внутренних факторов, относительность формулировок, зависимость их от времени, возможность использования различных форм представления структур целей, учитывать требования к структурам. При формировании ветвей структуры ЦФ следует выделить сферы компетентности для ЛПР соответствующей квалификации. Для обеспечения полноты анализа ЦФ в приемле-

мые сроки необходимо использовать автоматизированную диалоговую процедуру анализа целей и функций (АДПАЦФ), рассматриваемую в параграфе 5.6.

Этап 2. Оценка первоначального варианта (вариантов) структуры целей и функций и его корректировка (или выбор наилучшего).

Подэтап 2.1. Оценка структуры целей и функций для выявления наиболее значимых составляющих.

Для оценки составляющих структуры ЦФ предлагается параллельно использовать экспертные оценки (подэтап 2.1.1) и косвенные количественные оценки (подэтап 2.1.2), которые затем обрабатываются совместно (подэтап 2.1.3).

При экспертной оценке в качестве критериев используется система критериев, аналогичная принятой в методике ПАТТЕРН. В ней предлагаются следующие группы критериев: относительной важности (значимости), взаимосвязанности, экономические оценки; при выборе косвенных количественных оценок учитывается «пространство инициирования целей и факторов», т.е. учитываются требования и потребности надсистемы, отраженные в законодательных актах и директивных документах; взаимоотношения с аналогичными предприятиями актуальной среды; интересы подведомственных подразделений; инициативы структурных единиц собственно системы управления.

При обработке результатов оценки применяются не только традиционные методы усреднения, но и выявление противоречивых мнений с последующим содержательным анализом этих оценок.

На основе получения результатов оценки исходная структура корректируется (2.1.4): составляющие, получившие наименьшие оценки значимости по сравнению с другими и не получившие при этом высоких оценок связности с высокосвязными, либо исключаются из структуры ЦФ, либо опускаются на нижележащие уровни иерархии, и, напротив, составляющие, получившие высокие оценки значимости, могут быть перенесены на более высокие уровни иерархической структуры.

При корректировке могут возникнуть вырожденные ветви, разные варианты новой структуры ЦФ. В последнем случае следует перейти к подэтапу 2.2. Решение о целесообразности перехода к анализу структуры с точки зрения централизации-децентрализации управления (2.2.2) может быть принято (2.1.5) и в случае одного варианта струк-

туры для сопоставления ее с аналогичными структурами целей (основных направлений развития) других предприятий (организаций) или со структурой направлений деятельности предшествующего периода развития предприятия (организации).

Подэтап 2.2. Оценка структуры (вариантов структуры) с точки зрения ее формы и удобства для дальнейшего использования.

Сопоставление вариантов структуры может производиться на основе требований к структурам ЦФ, сформулированных при выполнении подэтапа 1.1.3 (2.2.1), и с использованием для сравнительного анализа структур информационного подхода (2.2.2). Во втором случае оценивается степень целостности α , позволяющая судить об управляемости предприятия с помощью разрабатываемой структуры целей о степени централизации-децентрализации управления.

Можно использовать оба подхода к оценке вариантов структур, а затем — результаты обобщать (2.2.3). Подэтап принятия решений о дальнейшем ходе работ (2.2.4) необходим в случае, когда в 1.6.2 было принято решение о том, чтобы вначале выполнять подэтап 2.2. После выполнения 2.1 возможна повторная оценка составляющих структуры для корректировки соотношения централизации—децентрализации управления.

Примечание к этапу 2. Для сбора и обработки экспертных и косвенных количественных оценок и для сравнительного информационного анализа структур следует создать группу соответствующих специалистов. В необходимых случаях может быть использован метод организации сложных экспертиз, базирующийся на информационном подходе. Для обработки оценок разрабатывают автоматизированные процедуры.

Использование обобщенной методики при разработке методик структуризации и анализа целей конкретных предприятий

В приведенном примере обобщенной методики проиллюстрированы принципы представления подобных нормативно-методических документов. В реальных методиках необходимо подробнее характеризовать подэтапы и сопровождать их соответствующими примерами в приложениях, полезно используемую терминологию приближать к более привычной для данного предприятия (например, изменять названия признаков структуризации). Наиболее целесообразно на основе обобщенной мето-

дики разработать методику для конкретного предприятия. Варианты таких методик приведены на рис. 5.23—5.25.

В зависимости от особенностей предприятия, задач данного периода его развития при выполнении этапа 1 рассмотренной обобщенной методики могут быть выбраны различные приемы и признаки структуризации. При этом может оказаться полезным комбинировать методики структуризации в разных ветвях и на разных уровнях формируемой структуры ЦФ.

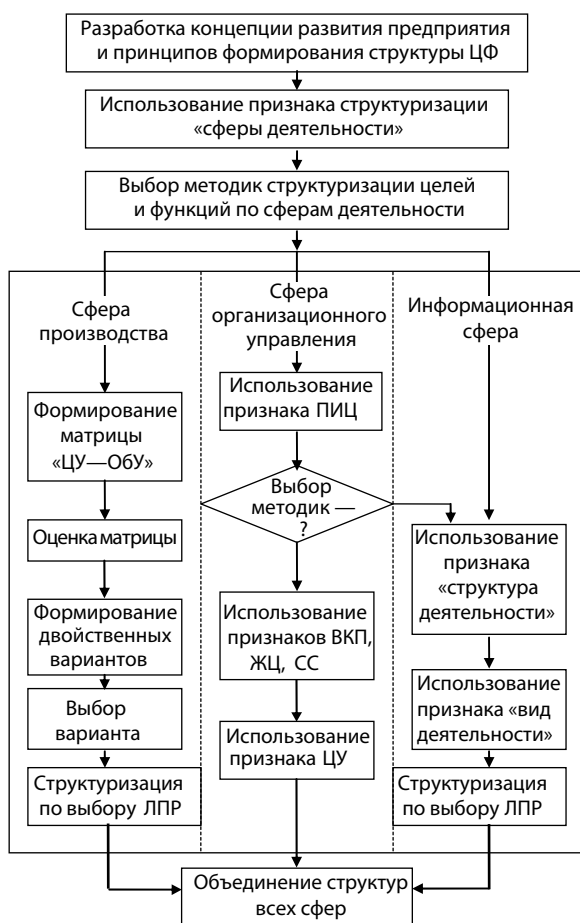


Рис. 5.23

Например (см. рис. 5.23), если структура ЦФ разрабатывается для предприятия в целом, то вначале можно, используя рекомендации методики, базирующейся на концепции деятельности, выделить на верхнем уровне структуры ЦФ сферы деятельности.

Это поможет устранить путаницу в определении направлений и функций сферы собственно производства (технологических процессов) и сферы организационного управления, которая довольно часто проявляется на практике при формировании структуры (или перечней) функций без предварительного четкого отделения этих сфер друг от друга.

Кроме того, явное применение признака «сферы деятельности» заставляет задуматься над тем, что помимо двух названных, основных сфер на предприятии могут быть выделены и другие: в частности, в качестве самостоятельных сфер можно рассматривать информационную сферу, обеспечивающую возможность развития двух предшествующих, социальную сферу, что становится весьма актуальным в период кризисов. Сферы деятельности могут быть выделены и по принципу формирования организационной структуры: сферы линейного и функционального управления, программно-целевая сфера.

После выделения сфер деятельности структуризация каждой из них может осуществляться с использованием разных методик.

Например, для анализа сферы производства можно выбрать методику, базирующуюся на двойственном определении системы, т.е. сформировать и проанализировать матрицу «факторное расчленение (объекты) — процедурное расчленение (этапы техпроцессов)»; для сферы организационного управления, если предприятие переходит на новые принципы функционирования (например, преобразуется в арендное), изменяющие его взаимодействие с другими предприятиями и условия реализации продукции, может быть применена методика, основанная на концепции системы, учитывающей среду и целеполагание; а для информационной сферы, учитывая ее малоизученность, можно продолжить применять методику, базирующуюся на концепции деятельности, структурируя эту ветвь по признакам «структура деятельности», «вид деятельности»

Далее при анализе целей и функций по названным ветвям может возникнуть вновь необходимость изменить методику. Например, четвертую составляющую «пространства инициирования целей» — собственно

систему управления — удобно структурировать, используя методику, базирующуюся на концепции деятельности.

Для представления рабочей методики, реализующей описанный порядок действий, на рис. 5.23 выбрана форма вертикально представленного алгоритма, более привычная для традиционных алгоритмов (этапы расположены сверху вниз). Но можно было бы располагать этапы и подэтапы так же, как и на рис. 5.17, 5.22, т.е. горизонтально, что больше принято при представлении методик.

На рис. 5.24 приведен пример рабочей методики, полученной при проектировании системы организационного управления предприятия с гибкой автоматизированной технологией.

Такое предприятие, например, гибкий автоматизированный завод (ГАЗ) будет функционировать в принципиально новых условиях, поэтому необходимо сформировать как можно более полную структуру ЦФ системы управления и проанализировать ее. Для проведения такого анализа может не оказаться экспертов, которые имели бы опыт работы в условиях пока еще не существующего предприятия. Поэтому, прежде всего, анализ должен базироваться на исследовании вариантов технологии будущего ГАЗ (этап 1).

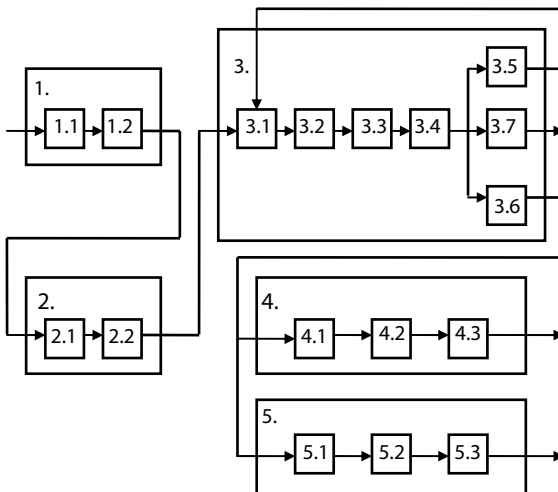


Рис. 5.24

Для сокращения сроков проведения анализа в практических условиях проектирования оказалось целесообразным выявить наиболее значимые (с точки зрения влияния на них гибкой автоматизированной технологии) виды управленческой деятельности, распределить их по группам (этап 2) и поручить работу по анализу этих групп соответствующим специалистам с учетом их квалификационной подготовки.

Опыт показал, что для принципиально нового предприятия обеспечивающие виды деятельности невозможно структурировать, не связав их предварительно с основными (т.е. не определив, от каких видов обеспечения в большей мере зависят основные виды деятельности проектируемого ГАЗ). А структуризация и анализ видов деятельности, направленных на развитие предприятия, базируется как на определении основных, так и на предварительном выявлении состава обеспечивающих видов деятельности. Поэтому удобно провести работу поэтапно:

- 1) выделить три группы видов управленческой деятельности — основные, обеспечивающие и направленные на развитие предприятия;
- 2) провести вначале структуризацию основных видов деятельности (этап 3); далее — обеспечивающих (этап 4), что можно осуществлять параллельно по всем видам обеспечения;
- 3) провести анализ функций по видам деятельности, обеспечивающим развитие предприятия и совершенствование его системы управления (этап 5).

Такая последовательность этапов и оформлена в виде методики, структура которой приведена на рис. 5.24. Учитывая, что методика разрабатывалась для получения как можно более полного состава подцелей и функций ГАЗ [74], второй из этапов обобщенной методики (этап оценки) не предусмотрен, а подэтапы первого этапа (этапа собственно структуризации) пронумерованы и названы этапами.

Для действующих предприятий методики анализа их целей и функций при корректировке планов и организационных структур могут получаться существенно более простыми, как это показано на рис. 5.25. Эта методика предназначена для анализа целей и функций предприятия в период его реконструкции и технического перевооружения (путем внедрения гибких производственных

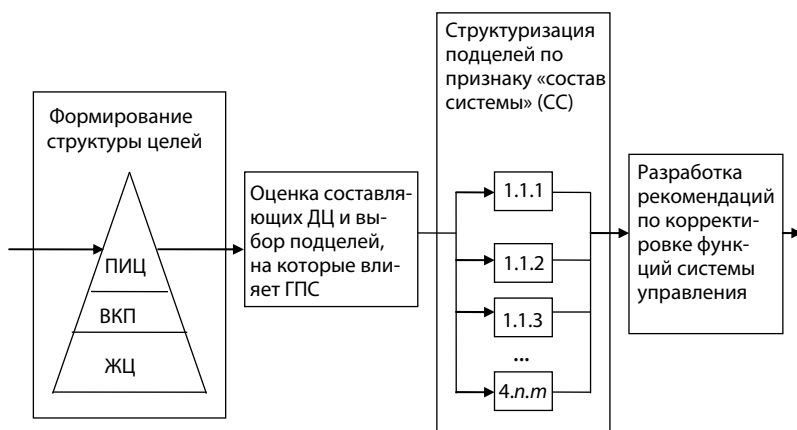


Рис. 5.25

систем — ГПС), и в ней используется методика, основанная на концепции, учитывающей взаимодействие системы со средой.

Использование методик структуризации, базирующихся на различных концепциях, позволяет обеспечить полноту анализа целей и функций системы управления предприятием (организацией) с точностью до принятой концепции, что важно учитывать при разработке конкретных методик.

Применение методик формирования и анализа структур целей и функций систем организационного управления предприятиями и другими социально-экономическими объектами позволяет обеспечить полноту их анализа, активизируя интуицию и опыт специалистов.

Однако применение методик на практике долгое время сдерживалось тем, что для полной последовательной реализации методики необходимы довольно большие затраты времени и труда.

Процесс формирования структуры ЦФ — итеративный, требующий уточнения признаков структуризации, изменения их последовательности. Для согласования вариантов структур, полученных разными специалистами, нужно обеспечить быструю повторяемость процесса формирования уточненных вариантов структуры. Поэтому разработаны автоматизированные процедуры анализа целей и функций (параграф 5.6).

5.5. Анализ целей и функций в сложных многоуровневых системах

Рассмотренные методики были разработаны для формирования и анализа древовидных иерархических структур целей, являющихся наиболее удобным средством организации управления. Однако при управлении в реальных условиях крупными предприятиями, вузами и другими организациями невозможно построить иерархическую структуру в виде единого «дерева», связывающего централизованный аппарат управления с производствами и цехами (или для вуза — ректорат с факультетами и кафедрами).

Этот факт вначале вызвал у практических работников недоверие к методу «дерева целей» как к теории, не приемлемой для реальных условий. Но исследования закономерностей целеобразования и формирования структур ЦФ позволили объяснить этот факт и дать практические рекомендации по формированию древовидных иерархических структур целей и функций. Из этих рекомендаций, в частности, следует, что одним «деревом целей» следует считать ту часть структуры, которая может быть сформирована в одном языке, а при изменении терминологии нужно формировать другое «дерево», в новых терминах.

Иными словами, в сложных многоаспектных многоуровневых системах необходимо *стратифицированное* представление их целей и функций.

Страты можно выделять по принципу использования различных выразительных средств (различных «языков» представления целей) в процессе прохождения объектом пути от замысла до его реализации: вербальное описание концепции создаваемого предприятия или нового вида продукции; инженерно-конструкторское представление процесса его создания (для продукции, например, обработка, сборка и т.д.); описание технологии создания продукции и, наконец, собственно организация технологического процесса (литья, обработки, сборки, испытаний и т.д.).

Этот способ стратификации используется на предприятии при разработке соответствующих нормативно-технических и нормативно-методических документов, регламентирующих различные стадии проектирования и производства продукции, и реализуется в форме различных классификаторов функций конструкторских разработок, технологиче-

ских процессов производства, выполняемых работниками соответствующей квалификации.

При разработке нормативных документов, организующих перспективы развития предприятия, объединения, организации, таких как прогнозы, основные направления, комплексные программы развития предприятий (организаций), отделение «деревьев» друг от друга удобнее производить в соответствии с уровнями организационной иерархии систем управления, т.е. рекомендуется выделять страты по принципу «аппарат централизованного управления — производство — цех» или «ректорат — факультет — кафедра», разрабатывая основные направления и прогнозы развития для этих уровней. При таком стратифицированном представлении целей возникает проблема взаимодействия между структурами целей разных уровней организационной структуры предприятия (организации).

Исследования этой проблемы показали, что в принципе структуры целей (основных направлений развития) и функций на каждой страте могут быть сформированы по различным логическим принципам (т.е. с помощью различных методик структуризации) и даже с использованием различных видов структур (на верхних уровнях — древовидные иерархии, на нижних — последовательности функций в виде сетевой модели), однако при анализе вариантов структуры целей и функций предприятия (организации) целесообразно вначале на всех стратах построить иерархические структуры с использованием одной из методик структуризации, что позволяет принимать решения о перераспределении функций между уровнями системы организационного управления.

Такое представление структур основных направлений и функций иллюстрирует рис. 5.26.

На этом рисунке показано, что глобальная цель может и не быть представлена на нижней страте и, кроме того, на этой страте различные ветви могут формироваться разными подразделениями и не быть связанными на своем уровне (по горизонтали), хотя в принципе могут существовать и горизонтальные взаимосвязи.

При проведении экспертного опроса по перераспределению функций между стратами экспертную группу следует формировать с учетом пространства инициирования целей, т.е. закономерности коммуникативности.

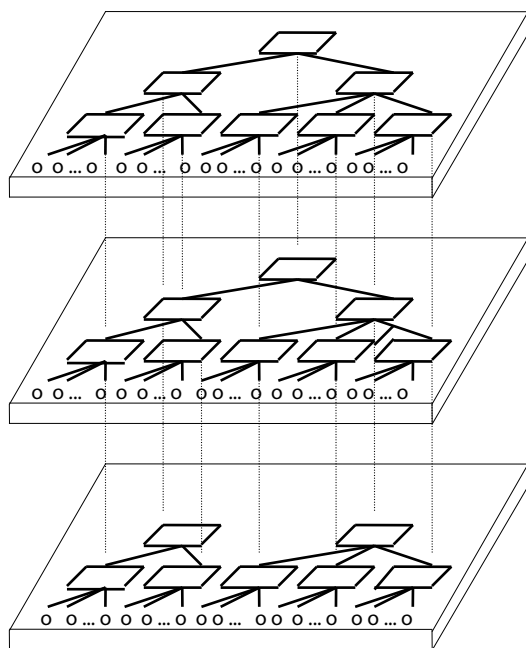


Рис. 5.26

Организовать опрос в приемлемые сроки позволяет автоматизированная диалоговая процедура анализа целей и функций (АДПАЦФ), рассматриваемая в параграфе 5.6. Для этого в качестве последнего списка следует ввести перечень уровней организационного управления, а затем признак «уровни управления», а при выводе результатов на дисплей вынести этот признак на верхний уровень выводимых иерархических структур, т.е. инвертировать структуру, что предусмотрено в АДПАЦФ.

После распределения функций между уровнями организационного управления на каждом из них структуры ЦФ могут быть изменены, и в общем случае взаимодействие между структурами целей разных уровней может быть отображено подобно тому, как это сделано на рис. 5.26.

Рассмотренный подход к представлению структур целей в многоуровневой системе управления особенно актуален в условиях перераспределения функций с целью предоставления большей самостоятельности нижележащим звеньям системы управления. При

этом, принимая решения о децентрализации управления, необходимо обеспечить контроль над тем, чтобы, передавая ряд функций нижележащим уровням управления, не утратить функции, которые могут быть реализованы только централизованными органами управления и при передаче на нижележащие уровни в принципе не могут быть выполнены. Такой «механизм» перераспределения функций с использованием методик структуризации и АДПАЦФ и с оценкой степени (баланса) централизации — децентрализации управления должен стать обязательной составной частью системы управления предприятий (организаций), функционирующих в постоянно изменяющихся условиях многоукладной экономики.

Переход к рыночной экономике заставил обратиться еще к одному способу представления иерархических систем — в виде эшелонов Месаровича [8] (см. рис. 1.10, д и рис. 1.17 в гл. 1).

При создании в рамках производственных объединений саморегулирующихся участков, цехов, производств, предприятий малых форм, при управлении предприятиями и организациями, входящими в объединение, акционерное общество и т.д., нужно иметь в виду, что организационно-правовые формы существования промышленных и непромышленных коллективов в условиях рыночной экономики могут быть различными. Однако эшелонированное представление систем управления, а соответственно, их структур целей и функций, позволяет организовать более гибкое взаимодействие между объединяемыми компонентами системы.

Такое представление допускает различные виды взаимодействия между уровнями не только в форме прямых управляющих воздействий вышестоящего уровня на подчиненные ему, но и преимущественно взаимоотношения между структурными единицами различных организационно-правовых форм (по горизонтали и вертикали) в виде координирующих связей с разной степенью вмешательства в деятельность этих структурных единиц.

Подобные принципы взаимодействия реализуются, например, в структурах типа холдинга, в которых разным организациям и фирмам, входящим в холдинг, предоставляется различная степень самостоятельности, но обеспечиваются и контролируются (в частности, с помощью соответствующего распределения пакета акций) взаимосвязи, обеспечивающие сохранение целостности холдинговой системы.

При применении *стратифицированных* и *эшелонированных* представлений в первый этап обобщенной методики, приведенной на рис. 5.22, нужно добавить подэтап распределения функций по стратам или структурным подразделениям эшелонов, а при реализации этапа 2 использовать не традиционные экспертные оценки, а методы организации сложных экспертиз, косвенные количественные оценки и информационную оценку степени целостности (подобную рассмотренной в параграфе 3.2 гл. 3), которая применительно к структурам целей интерпретируется как критерий управляемости системой при предоставлении свободы субъектам, реализующим подцели и функции, а для эшелонированных структур типа холдинга трактуется как степень координируемости предприятий и организаций, входящих в холдинг.

При формировании стратифицированных и эшелонированных структур ЦФ целесообразно также использовать закономерности целеобразования и методики структуризации целей.

5.6. Автоматизация процесса формирования структур целей и функций

Принципы автоматизации процесса формирования структуры целей и функций. Изучение процесса формирования и анализа структур целей и функций управления показало, что сразу построить структуру ЦФ, которая удовлетворяла бы всех ЛПР, обычно не удается.

Это — сложный, итеративный процесс, требующий уточнения признаков структуризации, классификаторов по этим признакам, изменения их последовательности, обсуждения вариантов структуры и внесения изменений в исходные классификаторы. Если структуру параллельно формируют разные специалисты, то даже при использовании одной и той же методики они, как правило, формируют разные варианты структуры, что обусловлено проявлением закономерности целостности на каждом уровне иерархической структуры. При сопоставлении вариантов структуры, согласовании мнений экспертов нужно обеспечить быструю повторя-

емость формирования новых, уточненных структур, что весьма трудоемко.

Все это обусловило необходимость поиска путей автоматизации формирования и анализа структур целей и функций, которая позволила бы сократить время на получение структуры, не снижая при этом степени полноты.

Анализ пошагового формирования структуры ЦФ с использованием методик структуризации позволяет частично формализовать этот процесс и подготовить возможность автоматизации. Анализ также показал, что по мере добавления признаков структуризации, при переходе с верхнего уровня структуры на нижний, получаемые подцели и функции становятся все более конкретизированными. Это означает, что при помещении рядом составляющих классификаторов смежных — вышестоящего и нижележащего — уровней иерархической структуры и при продвижении по структуре сверху вниз происходит уточнение содержания функций управления, т.е. как бы появляется новый смысл (разумеется, вследствие осмысления формируемых сочетаний человеком, их воспринимающим и оценивающим).

При сопоставлении таких конкретизированных подцелей (функций) можно ставить вопрос о том, какие из них в условиях конкретного предприятия являются более значимыми, по каким нужно осуществлять централизованное управление, создавать автоматизированные процедуры поддержки принятия решений и т.п.

Эффект появления нового смысла исследуется в теории множеств (при формировании множеств из «пар», «троек», «n-ок» элементов исходных множеств), в математической лингвистике и теории языков (при создании тезаурусов).

Например, в соответствии с тезаурусным или лингвистическим представлением рассматриваемой ситуации можно сформировать списки понятий (классификаторы по признакам структуризации) и, помещая рядом составляющие из разных списков (операция конкатенации), получить, таким образом, все возможные конкретизированные функции, которые должны быть в структуре целей и функций при принятой концепции представления системы и соответствующей методике.

Для организации такой процедуры, казалось бы, легко применить ЭВМ: программа для реализации операции конкатенации должна содержать несколько вложенных циклов (по числу списков).

Однако при разработке программы следует помнить, что число получаемых размещений с повторениями согласно известной теореме комбинаторики (см. гл. 3) определяется как $R = k_1 \times k_2 \times \dots \times k_n$, где k_1, k_2, \dots, k_n — число элементов в исходных списках (классификаторах), и если число списков (признаков структуризации), например, 7, и в каждом классификаторе содержится хотя бы по 7 составляющих, то $R = 7 \times 7$, что много не только для человека, но и для ЭВМ, а если элементов и списков больше, то перебор (хотя число размещений с повторениями меньше, чем число сочетаний) становится практически нереализуемым.

Поэтому долгое время проблема автоматизации формирования структуры целей и функций считалась нерешаемой. Ее решение оказалось возможным только в диалоговом режиме. Опираясь на основную идею «дерева целей» — отсечение малозначимых (несущественных или несуществующих) элементов «дерева целей» на каждом шаге структуризации — можно решить проблему автоматизации формирования структуры ЦФ.

Идея организации такой человеко-машинной процедуры иллюстрируется на рис. 5.27. Здесь приведен пример применения методики, базирующейся на двойственном определении системы, согласно которой на верхних уровнях иерархической структуры применяются признаки структуризации «объект управления (ОУ)», «цикл управления (ЗУ)», а в качестве третьего признака структуризации используется признак «виды продукции (VP)», классификатор которого включает автомобили (АВТ), запасные части (З/Ч), товары народного потребления (ТНП). Участие человека показано ответами по двоичной системе «+» — «-».

Естественно, в классификаторы вводят только ключевые слова. Поэтому на рисунке приведены в качестве примера формулировки подцелей, получаемые на основе отобранных размещений, составленных из ключевых слов.

На рис. 5.28 приведен пример процесса формирования верхних уровней структуры целей и функций при использовании методики, основанной на концепции системы, учитывающей ее взаимодействие со средой.

Классификатор по первому признаку структуризации «пространство инициирования целей (PIC)» содержит всегда одинаковые составляющие, определяемые закономерностью коммуникативности, — надсистему (НС), актуальную среду (АС), подведом-

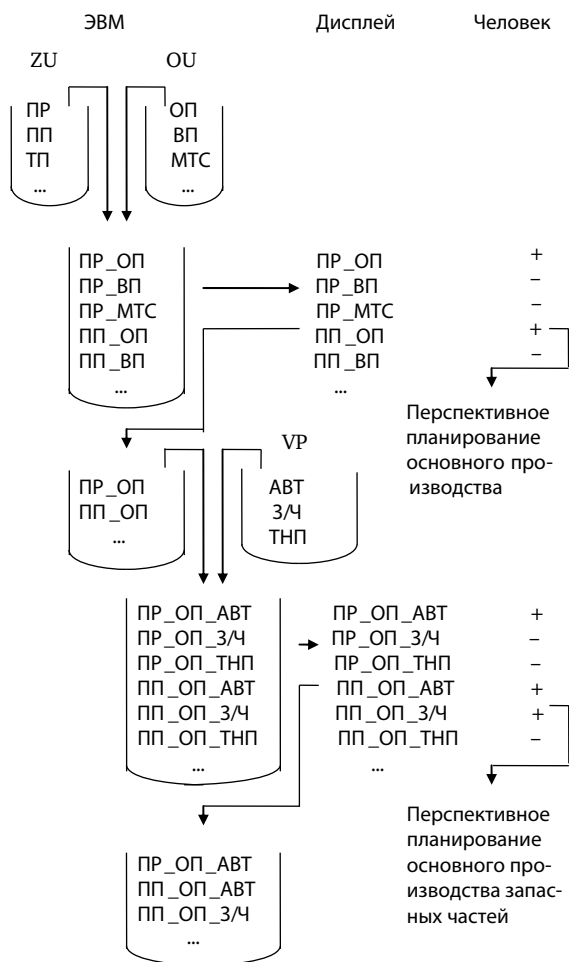


Рис. 5.27

ственные системы (ПС) и собственно систему управления (СС). При этом ПС и АС переставлены местами, поскольку в новых экономических условиях в наибольшей степени нас будет интересовать изменение взаимоотношений с НС и АС.

Из составляющих классификатора по второму признаку структуризации «Виды конечного продукта (VKP)» рассмотрим три, приведенные на рис. 5.28, на которые новые экономические условия

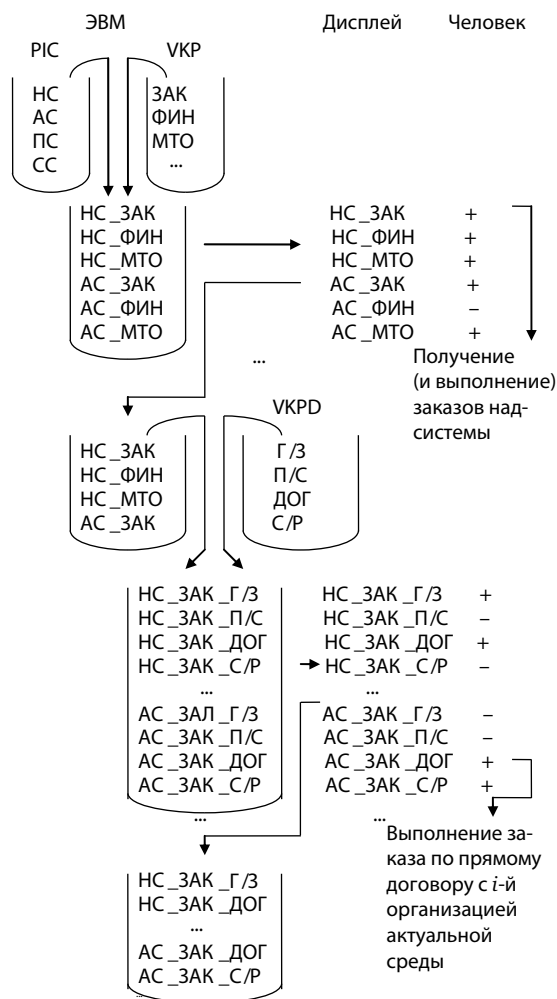


Рис. 5.28

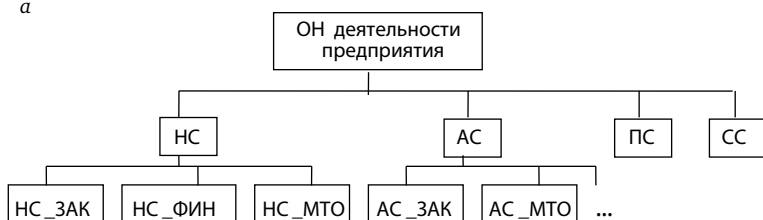
влияют в наибольшей степени, — заказы (ЗАК), финансы, инвестиции (ФИН), материально-техническое обеспечение (МТО).

Предположим, что речь идет о крупном промышленном предприятии, которое прежде было государственным и преобразовано в акционерное общество, сохранившее контрольный пакет акций в собственности

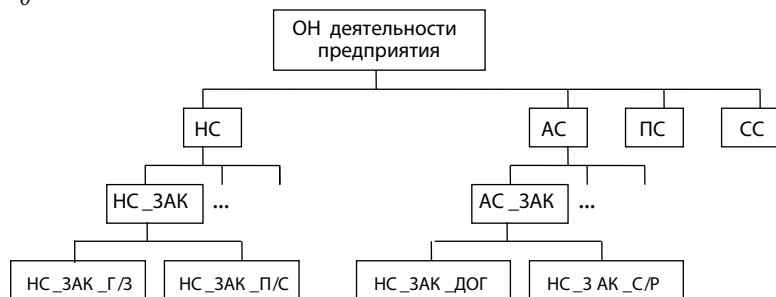
у государства и имеющее право на госзаказ, а соответственно, и на государственное финансирование и материально-техническое обеспечение, но получившим право на заключение прямых договоров с другими предприятиями и на свободную реализацию части своей продукции. В случае другого предприятия (особенно предприятия малого бизнеса) ответы ЛПР при отборе подцелей были бы иными, чем приведенные на рис. 5.28.

Фрагмент структуры ЦФ или основных направлений (ОН) деятельности предприятия, полученный после первого шага выбора размещений с повторениями, приведен на рис. 5.29, а. Осмысливая полученные ответы, можно видеть, что заказы предприятие может

а



б



в

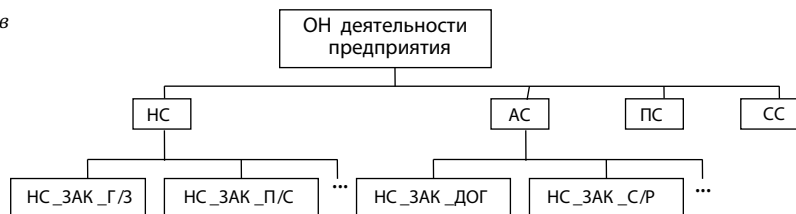


Рис. 5.29

получать от надсистемы и от актуальной среды; материально-техническое обеспечение — тоже; финансирование — в принципе также могло бы быть получено и от надсистемы, и от актуальной среды, но ЛПР приняли решение не брать кредиты у коммерческих банков и не выбрали финансирование из источника АС_ФИН.

Кроме того, ЛПР могут неоднозначно интерпретировать выбранные составляющие.

Так, заказ от надсистемы (НС_ЗАК) можно понимать и как получение госзаказа (Г/З), и как определение платежеспособного спроса (П/С) на продукцию предприятия на основе исследования потребностей надсистемы (рынка в широком смысле). Финансирование от надсистемы (НС_ФИН) может быть получено в виде государственного финансирования госзаказа, а может — в форме кредита от госбанка. Заказ от актуальной среды (АС_ЗАК) может быть в форме заключения прямого договора (ДОГ) с какими-либо предприятиями, а может быть предназначен для свободной реализации (С/Р) на рынке сбыта.

Поэтому в данном случае нужно либо скорректировать классификатор по признаку *VKP*, либо сделать этот классификатор двухуровневым, что оговаривалось в исходном варианте применяемой методики.

Фрагмент этого дополнительного классификатора (*VKPD*), включающий названные выше виды заказов (Г/З, П/С, ДОГ, С/Р), приведен на рис. 5.28. Фрагмент полученной структуры видов заказа — на рис. 5.29, б.

Если после интерпретации других составляющих окажется, что двухуровневые классификаторы *VKP* для других составляющих не потребуются, а общее их число с учетом второго уровня не превышает 7—9, то можно виды заказов «поднять» на вышележащий уровень, заменив неопределенные НС_ЗАК и АС_ЗАК на более конкретные Г/З, П/С, ДОГ, С/Р (рис. 5.29, в).

При окончательном формировании структуры ЦФ функции определения вида заказа, поиска заказчиков, пропаганды и рекламы своей продукции для привлечения заказчиков при свободной реализации и т.д. могут быть объединены обобщающей функцией — маркетинг, а дальнейшую структуризацию этой функции поручить соответствующему подразделению, выделенному в организационной структуре.

Дополнительные преобразования и интерпретации позволяют сделать структуру ЦФ более удобной для ЛПР. Обобщая функции или поднимая их на вышележащие уровни, можно сократить число уровней структуризации, что необходимо в реальных условиях,

поскольку желательно, чтобы число уровней основных направлений (целей и функций) деятельности предприятия на практике не превышало 3—4.

При структуризации целей и функций предприятий малого бизнеса, особенно не производящих продукцию, а оказывающих те или иные услуги, первая ветвь РС может и не существовать, поскольку предприятие может не только не иметь госзаказа, но и возможностей для определения платежеспособного спроса на свои услуги; кроме того, важную роль может играть признак структуризации «жизненный цикл», который в некоторых случаях даже может быть вынесен на верхний уровень структуры ЦФ.

Таким образом, применение одной и той же методики в различных конкретных условиях может привести к получению разных структур ЦФ, и слепое заимствование структур недопустимо, а методики структуризации являются важным средством формирования структур целей, основных направлений деятельности предприятия, позволяющим учесть его особенности и условия конкретного периода его функционирования и развития.

В принципе появление нового смысла может быть связано не только с операцией конкатенации. Между уровнями могут быть и причинно-следственные отношения, и отношения подчиненности, включения и т.п., что, например, имеет место при использовании методики, учитывающей взаимодействие системы со средой (составляющие среды обуславливают получение соответствующих видов конечного продукта).

На основе рассмотренной идеи разработаны автоматизированные диалоговые процедуры анализа целей и функций, с помощью которых можно получать размещения с повторениями из исходных списков классификаторов по используемым признакам структуризации, в результате чего возникает известный в теории множеств эффект появления нового смысла, уточнения подцелей и функций. Отсечение малозначимых или не имеющих смысла размещений на каждом шаге структуризации в диалоговом режиме позволяет сократить перебор вариантов подцелей и функций.

Такие процедуры студенты разрабатывают в процессе проведения лабораторных работ. Удобным средством для разработки таких процедур является язык логического программирования Турбо-Пролог. Но возможна их разработка и другими средствами. Есть процедуры, разработанные в среде *FoxPro*, на языке СИ++ [24].

Темы для самоконтроля

1. Методики структуризации целей и функций систем управления.
2. Методика ПАТТЕРН.
3. Принципы и приемы Ю. И. Черняка.
4. Методики, основанные на философских концепциях системы.
5. Методика, базирующаяся на двойственном определении системы А. И. Умова.
6. Методика, основанная на концепции системы, учитывающей ее взаимодействие со средой.
7. Методика, базирующаяся на концепции деятельности.
8. Методика структуризации систем, стремящихся к идеалу, Р. Акоффа — Ф. Эмери.
9. Сравнительный анализ и выбор методик для конкретных предприятий (организаций) и экономических условий.
10. Принципы разработки автоматизированных процедур формирования и анализа целей и функций систем управления: принципы работы.

ГЛАВА 6

Методы и модели организации сложных экспертиз

Методы организации сложных экспертиз разрабатывают для повышения объективности получения оценок путем использования основной идеи системного анализа — расчленения большой первоначальной неопределенности проблемы на более обозримые составные части, лучше поддающиеся осмыслению.

Эти методы можно разделить на несколько групп: методы, основанные на усложненной экспертной процедуре, предложенной в методике ПАТТЕРН (параграф 6.1); метод парных (попарных) сравнений Т. Саати (параграф 6.2); метод решающих матриц Г. С. Поспелова и его модификации (параграф 6.3); модели (методы) организации сложных экспертиз, основанные на использовании информационного подхода (параграф 6.4). В их числе модели оценки нововведений, сравнительного анализа проектов и хода их внедрения, методы анализа ситуаций в статике и динамике, в том числе рыночных. Существуют также комплексные модели, объединяющие несколько методов (параграф 6.5).

После изучения данной главы студент должен:

знать

- классификацию оценок в методике ПАТТЕРН, методы их получения и обработки;
- основные особенности метода решающих матриц Г. С. Поспелова и его модификаций для маркетинговых исследований;
- принципы формирования и исследования моделей, основанных на применении информационного подхода:
 - 1) моделей, основанных на применении информационной меры А. А. Денисова, учитывающей одновременно степень влияния оцениваемой компоненты (нововведения, фактора) на достижение целей организации и вероятность реализации этой компоненты и ее использования;
 - 2) моделей управления ходом внедрения нововведений на основе изменения во времени оценок по введенным

критериям; 3) моделирования ситуаций с учетом взаимного влияния оцениваемых компонент;

уметь

- разрабатывать модели организации сложных экспертиз с использованием оценок методики ПАТТЕРН, на основе метода решающих матриц, информационного подхода, а также автоматизированные процедуры для их реализации;

владеть

- навыками разработки моделей организации сложных экспертиз и автоматизированных процедур для их реализации (моделей с использованием оценок методики ПАТТЕРН, моделей решающих матриц, информационных моделей выбора и управления внедрением нововведений, сравнительного анализа конфигурации сложных технических комплексов и т.п.).
-

6.1. Метод усложненной экспертной процедуры, предложенный в методике ПАТТЕРН

Методика ПАТТЕРН рассмотрена в гл. 5. В ней выделяются три группы критериев оценки:

- относительной важности;
- взаимной полезности;
- состояния и сроков разработки («состояние — срок»).

Эти группы критериев применялись для оценки составляющих «дерева целей» и оценки реализации проектов, реализующих цели. Но в последующем разрабатывались и применялись модификации этих видов критериев.

В гл. 5 эти группы методов рассмотрены в варианте ПАТТЕРН. Здесь же обратим внимание на то, за счет чего предлагаемая в ПАТТЕРН система критериев позволяет повысить объективность оценок, и приведем варианты ее развития.

Оценка *относительной важности* с учетом нескольких критериев и их весовых коэффициентов осуществляется методом нормирования. Используются несколько критериев (коэффициентов) относительной важности и учитываются их весовые коэффициенты. Составляется матрица соответствия элементов, подчиненных узлу, и критериев, принятых при их оценке (см. табл. 5.1 в гл. 5).

В процедуре предусмотрена проверка выполнения двух условий нормирования (5.1) и (5.2) для достижения однородности результатов: нормирование весовых коэффициентов критериев $\sum_{x=1}^m q_x = 1$ и оценок относительной важности оцениваемых компонент по каждому критерию $\sum_{j=1}^n s_{jx} = 1$. Результирующие оценки относительной важности j -го элемента i -го уровня определяются следующим образом в соответствии с (5.3):

$$j = \sum_{x=1}^m q_x \cdot s_{jx}. \quad (6.1)$$

После окончания обработки оценок — производится проверка правильности полученных результирующих оценок согласно (5.4)

$$\sum_{j=a}^n j = 1.$$

Приняты следующие обозначения: k_x — наименование критерия; q_x — вес критерия; s_{jx} — относительный вес оцениваемого элемента (по соответствующему критерию); r_{ij} — коэффициент относительной важности j -го элемента i -го уровня.

В многоуровневой иерархической структуре рассмотренная процедура повторяется на каждом уровне для каждого узла иерархической структуры. Процедуру оценки начинают с верхнего уровня структуры, далее перемещаются на следующий сверху уровень, где проводится последовательно оценка по каждому из узлов, затем — на третий сверху с последовательной оценкой по каждому из узлов и т.д. Для получения нормированных оценок относительной важности элемента самого нижнего или любого элемента промежуточных уровней иерархической структуры необходимо умножить оценку элемента r_{ij} интересующего уровня на аналогичные оценки всех элементов-узлов, находящихся между этим элементом и вершиной иерархии.

Процедура оценки организуется, как правило, в форме двух-трех туров. После проведения каждого тура эксперты знакомятся с результатами оценок коллег. Тем экспертам, мнения которых существенно отличается от других, может быть предоставлена возможность обоснования своей точки зрения, что может повысить объективность оценок, побудить некоторых экспертов пересмотреть свои оценки.

Для выполнения рассмотренных расчетных операций разрабатывают автоматизированные процедуры.

Пример ввода данных для одного узла оцениваемой иерархической структуры приводится в гл. 5. При разработке автоматизированной процедуры, естественно, необходимо предусмотреть рассмотренные условия нормирования и перемножения исходных оценок нижележащих элементов на оценки объединяющей их компоненты. Примеры автоматизированных процедур приведены в учебном пособии авторов [4].

В последующем метод, предложенный в ПАТТЕРН, развивался.

При организации процедуры оценки предлагалось учитывать коэффициенты компетентности экспертов, уточняемые на каждом туре опроса с учетом их близости к усредненным оценкам. Для учета коэффициентов компетентности применялась процедура, аналогичная приведенной, только в матрице вместо критериев размещались эксперты и их коэффициенты компетентности.

Последовательность обработки результатов оценок при учете и весовых коэффициентов критериев, и коэффициентов компетентности экспертов может быть любая: можно вначале обрабатывать оценки в последовательности, изложенной выше, а можно — на втором туре вначале учесть коэффициенты компетентности экспертов и обработку вести по каждому критерию последовательно, а затем — объединить оценки по разным критериям.

При большом различии коэффициентов компетентности экспертов для обработки оценок используются более сложные алгоритмы с учетом согласованности мнений экспертов, а на их основе следует либо исключать мнения экспертов, имеющих низкую согласованность мнений с другими, либо обращать особое внимание на эти мнения, как на редкие.

Названные меры, позволяющие повысить объективность оценки, можно дополнить выделением сфер компетентности экспертов по уровням и узлам иерархической структуры.

Процедуры, учитывающие весовые коэффициенты критериев и коэффициенты компетентности экспертов, позволяют получить более объективные оценки по сравнению с простым усреднением мнений экспертов. Однако при этом сохраняется один из основных недостатков экспертных оценок — усреднение, применение итераций и введение зависимости коэффициентов компетентности экспертов от средней оценки усиливает коллективно-субъективные мнения.

Поэтому, наряду с выявлением противоречивых и редких мнений (мнений экспертов с низким коэффициентом согласованности с другими), полезно использовать (как, например, рекомендовано в обоб-

щенной методике в гл. 5, параграф 5.4) косвенные количественные оценки и графические представления, позволяющие сопоставлять эти оценки и оценки экспертов. При этом целесообразно учитывать не суммарные r_{ij} , а промежуточные оценки $q_x \cdot s_{jx}$ по каждому критерию.

Результаты могут выводиться на дисплей или принтер либо в виде гистограмм, либо оценки разных экспертов и косвенные количественные оценки могут сопоставляться в одной плоскости, что удобнее для выявления противоречивых оценок.

Группа оценок *взаимной полезности*, выделенная в системе оценок методики ПАТТЕРН, позволяет уточнить оценки относительной важности. Однако полный перебор всех компонентов соответствующего уровня «дерева целей» весьма трудоемок. Поэтому предлагались различные варианты сокращения полного перебора сопоставляемых компонентов. В различных разработках в нашей стране оценка *взаимной полезности* иногда трактовалась как оценка *взаимосвязанности* без определения числового коэффициента силы связи.

Пример

Например, при разработке автоматизированных систем управления выбор состава подсистем осуществлялся с учетом их взаимосвязанности, и в состав структуры функциональной части АСУ на планируемый период включались подсистемы, получившие по сравнению с другими более низкие оценки относительной важности, но связанные с подсистемами, получившими высокие оценки относительной важности; а разработка подсистем, не связанных с наиболее значимыми, переносилась на последующий плановый период.

Оценки *состояния и сроков разработки* («состояние — срок») в варианте методики ПАТТЕРН трудно применять в реальных условиях. Требуется предварительное тщательное обоснование затрат ресурсов по этапам жизненного цикла проекта (см. табл. 5.2). По мере реализации проекта исходные оценки могут изменяться. На практике рассматриваемый критерий иногда трактуется как оценка эффективности использования экономических ресурсов.

В то же время для крупных дорогостоящих проектов применение идей оценки по критерию «состояние — срок») представляется полезным.

В последующем разрабатывались и применялись модификации групп и видов критериев, предложенных в методике ПАТТЕРН.

Повышение объективности оценок при использовании идей этой методики повышается за счет:

- расчленения большой неопределенности по уровням иерархической структуры;
- введения групп критериев и расчленения неопределенности по группам критериев;
- введения видов критериев относительной важности и учета весовых коэффициентов критериев;
- возможности выделения сфер компетентности экспертов по разным критериям.

6.2. Метод анализа иерархий Т. Саати

Метод анализа иерархий был предложен в конце 1970-х гг. американским математиком **Т. Саати**¹ [72]. Метод заключается в декомпозиции проблемы на более простые составляющие части и поэтапном установлении приоритетов оцениваемых компонент с использованием парных (попарных) сравнений.

На первом этапе выявляются наиболее важные элементы проблемы.

На втором — наилучший способ проверки наблюдений, испытания и оценки элементов.

На третьем — осуществляется выработка способа применения решения и оценка его качества.

Весь процесс подвергается проверке и переосмыслению, до тех пор пока не будет уверенности, что процесс охватил все важные характеристики, необходимые для представления и решения проблемы.

Процесс может быть проведен над последовательностью иерархий. При этом результаты, полученные в одной из них, используются в качестве входных данных при изучении следующей.

В наиболее простой иерархии, называемой **Саати** доминантной, он определяет три уровня: верхний уровень цели (или целей), средний — критерии, нижний — перечень альтернатив (рис. 6.1).

В структуре между целью и альтернативами может быть несколько промежуточных уровней (рис. 6.2). Например, уровень проблем, акторов (уровень действующих сил, в качестве которых

¹ Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process / T. L. Saaty. — New York : McGraw-Hill International, 1980.

могут выступать административные власти, жители и т.п.). Каждый из критериев может разделяться на субкритерии.

Иерархия считается полной, если каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижележащего уровня. Иерархия может быть разделена на подиерархии.

Связи между уровнями часто изображают так, как показано на рис. 6.2.

Для реализации метода введен закон иерархической непрерывности, в соответствии с которым требуется, чтобы элементы каждого уровня были сравнимы по отношению к элементам вышестоящего уровня.

Между уровнями строятся матрицы. Для структуры, приведенной на рис. 6.1, матрицы строятся следующим образом: одна матрица для сравнения относительной важности критериев по отношению к цели и матрицы для оценки относительной значимости альтернатив относительно каждого из критериев второго уровня. Число матриц между уровнем критериев и альтернатив равно числу критериев. Общее число матриц равно числу критериев плюс одна для оценки критериев относительно цели.

Используемые в методе Саати попарные сравнения приводят к квадратным матрицам вида

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}. \quad (6.2)$$

Эта матрица имеет свойство обратной симметрии, т.е.

$$a_{ji} = 1 / a_{ij},$$

где индексы i и j относятся соответственно к строке и к столбцу. Обратные числа использованы в дальнейшем при обработке матрицы.

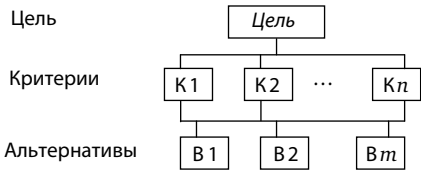


Рис. 6.1

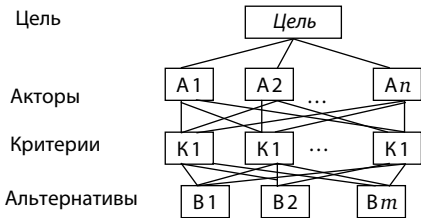


Рис. 6.2

В матрицах элементы нижележащего уровня (альтернативы, варианты) сравниваются попарно по отношению к критериям, а критерии — по отношению к цели.

Эти оценки могут получаться различными способами. Но в методе Саати для оценки компонент рекомендуется специальная шкала от 1 до 9, в которой компонентам равной важности ставится в соответствие единица, при умеренном превосходстве — 3, при существенном превосходстве — 5, значительном превосходстве — 7 и очень сильном превосходстве — 9. Значения 2, 4, 6, 8 используются как промежуточные между двумя соседними компонентами, получившими оценки 1, 3, 5, 7, 9 соответственно.

Относительная важность любого элемента, сравниваемого с самим собой, равна единице, т.е. диагональ матрицы состоит из единиц. При заполнении матрицы используется свойство обратной симметрии: симметричные клетки заполняются обратными величинами.

Получив совокупность матриц, можно принимать решение на основе их содержательного анализа, представив лицу, принимающему решения, оценки альтернатив по учитываемым критериям. Однако желательно получить обобщенные оценки альтернатив. Для этого можно применить различные способы усреднения. Саати предлагает использовать среднегеометрическое усреднение и нормирование полученных обобщенных оценок. Пример такой процедуры приведен в табл. 6.1.

Поскольку при такой, достаточно сложной, процедуре обработки оценок неизбежны приближенные вычисления корней (особенно при большом числе критериев), то для проверки согласованности полученных результатов предлагается умножить матрицу на нормированные оценки и получить меру оценки степени отклонения от согласованных оценок — индексы согласованности для каждой из матриц и иерархии в целом:

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1}x_1 + \frac{w_1}{w_2}x_2 + \dots + \frac{w_1}{w_n}x_n = Y_1 \\ \frac{w_2}{w_1}x_1 + \frac{w_2}{w_2}x_2 + \dots + \frac{w_2}{w_n}x_n = Y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1}x_1 + \frac{w_n}{w_2}x_2 + \dots + \frac{w_n}{w_n}x_n = Y_n. \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

Таблица 6.1

	Матрица	Вычисление оценок компонент собственного вектора по строкам		Нормирование результатов для получения оценок вектора приоритетов
	$A_1 \quad A_2 \quad \dots \quad A_n$			
A_1	$\frac{w_1}{w_1} \quad \frac{w_1}{w_2} \quad \dots \quad \frac{w_1}{w_n}$	$\sqrt[n]{\frac{w_1}{w_1} \times \frac{w_1}{w_2} \times \dots \times \frac{w_1}{w_n}} = a$	Суммирование элементов столбцов и нормирование	$\frac{a}{\text{Сумма}} = x_1$
A_2	$\frac{w_2}{w_1} \quad \frac{w_2}{w_2} \quad \dots \quad \frac{w_2}{w_n}$	$\sqrt[n]{\frac{w_2}{w_1} \times \frac{w_2}{w_2} \times \dots \times \frac{w_2}{w_n}} = b$		$\frac{b}{\text{Сумма}} = x_2$
...
A_n	$\frac{w_n}{w_1} \quad \frac{w_n}{w_2} \quad \dots \quad \frac{w_n}{w_n}$	$\sqrt[n]{\frac{w_n}{w_1} \times \frac{w_n}{w_2} \times \dots \times \frac{w_n}{w_n}} = c$		$\frac{c}{\text{Сумма}} = x_n$
		Сумма		

Возможность и целесообразность такой оценки базируется на том, что при рассмотренной выше процедуре x_1, x_2, \dots, x_n есть не что иное, как w_1, w_2, \dots, w_n соответственно. Однако приближенные вычисления могут привести к рассогласованию оценок.

Важно также отметить, что в матрице суждений нет дробных отношений, есть только целые числа или их обратные величины.

После получения индексов согласованности их сравнивают с допустимыми (отклонение 10% и менее). Если необходимой согласованности не получится, процедуру оценки нужно повторить.

С конкретными примерами расчетов можно познакомиться в работе **Т. Саати и К. Кернса** «Аналитическое планирование: Организация систем» [72, с. 33—43].

При применении метода следует иметь в виду, что, как отмечает **Саати**, «сложная математика не может «улучшить» то, что индивидуум не хочет менять» [72, с. 37]. Если требуемая согласованность не получена, следует возвратиться к опросу, изменяя формулировки вопросов, а при необходимости и критерии. Оговаривает **Саати** также целесообразность учета гипотезы Миллера: оценивать не более 7 ± 2 составляющих на каждом уровне.

6.3. Метод решающих матриц

Г. С. Поспелова

Исходный вариант метода

Примерно в тот же период, что и рассмотренный выше метод иерархий, **Г. С. Поспелов** предложил метод *решающих матриц* [67] как средство стратифицированного расчленения проблемы с большой неопределенностью на подпроблемы с пошаговым получением оценок.

Например, при создании сложных производственных комплексов, реализации крупных проектов и организации решения других, аналогичных по сложности, проблем нужно определить влияние на проектируемый объект фундаментальных научно-исследовательских работ, чтобы запланировать эти работы, предусмотреть их финансирование и распределить средства между ними.

Получить от экспертов объективные и достоверные оценки относительной значимости фундаментальных НИР для проектирования сложного объекта практически невозможно.

Для того чтобы облегчить экспертам эту задачу, можно вначале спросить их, какие направления (области) исследований могут быть полезны для создания комплекса (или какие подпроблемы нужно решить для реализации всей проблемы), и попросить определить относительные веса этих направлений (подпроблем) a_1, \dots, a_{na} . Затем следует составить план опытно-конструкторских работ для получения необходимых результатов по названным направлениям и оценить их вклад b_1, \dots, b_{nb} . Далее нужно определить

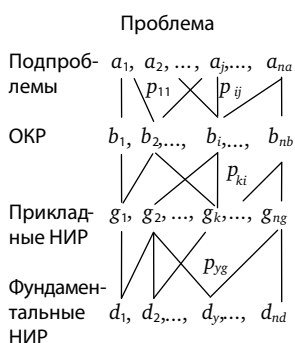


Рис. 6.3

перечень прикладных научных исследований и их относительные веса g_1, \dots, g_{ng} . И наконец, оценить относительную значимость фундаментальных НИР для прикладных d_1, \dots, d_{nd} .

Таким образом, область работы экспертов представляется в виде нескольких уровней: направления (подпроблемы) \rightarrow ОКР \rightarrow прикладные НИР \rightarrow фундаментальные НИР (рис. 6.3).

Относительные веса по всем уровням должны быть нормированы.

В методе решающих матриц для удобства опроса экспертов относительные веса определяются не в долях единицы, а в процентах, и нормируются по отношению к 100:

$$\sum_{j=1}^{na} a_j = 100.$$

Непосредственно экспертами оцениваются только относительная значимость направлений (подпроблем), остальные относительные веса вычисляются. Эксперты оценивают вклад каждой альтернативы (ОКР, НИР) в реализацию элементов более высокого уровня, непосредственно предшествующего уровню данной альтернативы. Так, вклад ОКР в реализацию направления (подпроблемы) оценивается некоторой величиной p_{ij} .

Естественно, для каждой ОКР относительные веса также нормированы:

$$\sum_{i=1}^{nb} p_{ij} = 100.$$

Таким образом, строка решающей матрицы характеризует относительную значимость i -й ОКР для реализации каждой из j -х подпроблем.

Оценив предварительно a_1, \dots, a_{na} и используя решающую матрицу $\|p_{ij}\|$, можно получить относительные веса ОКР

$$b_i = \sum_{j=1}^{na} p_{ij} a_j. \quad (6.4)$$

Аналогично, зная b_i и оценив $\|p_{ki}\|$, можно получить относительные веса прикладных НИР

$$g_k = \sum_{i=1}^{nb} p_{ki} b_i,$$

контролируя условия нормирования

$$\sum_{k=1}^{ng} p_{ki} = 100 \text{ и } \sum_{k=1}^{ng} g_k = 100,$$

а затем и фундаментальных НИР d_y .

Алгоритм реализации метода решающих матриц приведен на рис. 6.4.

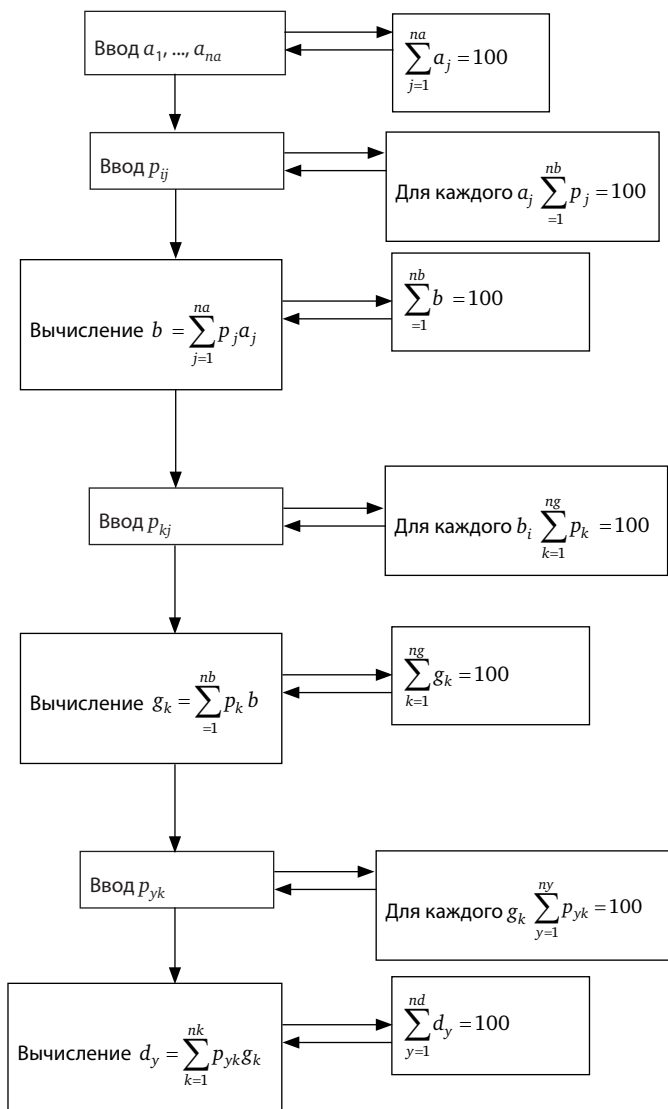


Рис. 6.4

В результате при использовании метода решающих матриц оценка относительной важности сложной альтернативы сводится к последовательности оценок более частных альтернатив, что обеспечивает их бóльшую достоверность при прочих равных условиях. Большая неопределенность, имевшая место в начале решения задачи, как бы разделена на более «мелкие», лучше поддающиеся оценке, в соответствии с одной из основных идей системного анализа.

При применении метода решающих матриц в особо сложных ситуациях целесообразно создавать базы данных и накапливать в них информацию о возможных фундаментальных, прикладных НИР и ОКР, проводимых в стране и за рубежом по проблемам, которые являются аналогичными или смежными с рассматриваемой. Наличие данной информации в БД по различного вида исследованиям позволит анализировать относительную значимость фундаментальных НИР для прикладных исследований, прикладных НИР — для ОКР, ОКР — для решения подпроблем в соответствии с рассмотренным методом решающих матриц.

Метод решающих матриц применялся для реализации крупных дорогостоящих проектов (космос, оборона, фундаментальные научные исследования и т.п.), при создании, реконструкции, конверсии предприятий или научно-исследовательских организаций, инвестируемых государством, т.е. в ситуациях, для которых повышаются требования к тщательности анализа факторов, влияющих на принятие решений.

Используя метод решающих матриц и формируя многоуровневую структуру факторов, влияющих на создание и функционирование предприятий (организаций), можно провести более тщательный анализ относительной значимости конкретных факторов нижнего уровня этой структуры (многие из которых могут быть количественно оценены с помощью детерминированных или вероятностных характеристик) для решения проблемы проектирования и функционирования предприятия. Другие возможные приложения метода решающих матриц приводятся ниже.

Реализация метода решающих матриц — достаточно трудоемкая задача, которую можно облегчить с помощью автоматизации получения и обработки оценок в диалоговом режиме. С примерами автоматизированных процедур можно познакомиться в [4].

**Модификации метода
решающих матриц**

При внедрении технических, технологических, организационных нововведений на предприятиях, распределении инвести-

ций для реализации крупных дорогостоящих проектов (космос, оборона, фундаментальные научные исследования и т.п.) повышаются требования к тщательности анализа факторов (в том числе качественных), влияющих на принятие решений.

В нашей стране для решения таких крупномасштабных задач был предложен метод решающих матриц, кратко изложенный выше. Этот метод был предложен *Г. С. Поспеловым* для решения проблемы организации космических исследований, но в последующем нашел широкое применение. В дальнейшем на основе этого метода были разработаны модификации, при использовании которых не всегда упоминают имя автора, предложившего метод.

Идея этого метода, базирующаяся на иерархическом расчленении большой неопределенности на более «мелкие», лучше поддающиеся исследованию, была кратко изложена выше. В то же время эта идея может быть использована в более широких приложениях и вариантах.

Оценка возможностей посреднической фирмы. Для обеспечения эффективности функционирования посреднической фирмы необходимо оценивать, с одной стороны, потребности в продукции и возможности потребителей, а с другой — возможность получения товара от производителей.

Для моделирования этой задачи можно модифицировать метод решающих матриц *Г. С. Поспелова*.

Напомним, что согласно описанию исходного варианта метода расчленение большой неопределенности на более обозримые для эксперта осуществлялось в форме стратифицированной модели, уровни которой выделены в соответствии с «жизненным циклом» решения проблемы: «фундаментальные НИР — прикладные НИР — ОКР — изделие (или иной результат решения подпроблемы)». Одновременно проводились оценки относительной значимости элементов самого нижнего уровня модели (фундаментальные НИР) для верхнего уровня (проблем), которые получались путем последовательного продвижения исследователя по стратифицированной модели «сверху вниз». То есть вначале проводились оценки относительной важности подпроблем, на которые расчленена проблема; затем — оценки вклада ОКР в решение подпроблем; далее — оценки вклада прикладных НИР в выполнение ОКР; и нако-

нец — оценки вклада фундаментальных НИР в выполнение прикладных исследований.

В рассматриваемой задаче положение посреднической фирмы определяется ее названием. Поэтому необходимо изменить последовательность получения оценок по сравнению с исходным методом, и получать их относительно среднего уровня стратифицированной модели, чтобы осуществлять на основе полученных оценок выбор поставщиков и потребителей.

Можно предварительно оценить относительные потребности, а затем уже — возможности приобретения продукции. Тогда в модели могут быть сформированы следующие страты (сверху вниз): потребители с относительными оценками $a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_{na}$; заказы — $b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_{nb}$; поставщики — $g_1, g_2, \dots, g_k, \dots, g_{ng}$ (рис. 6.5)¹.

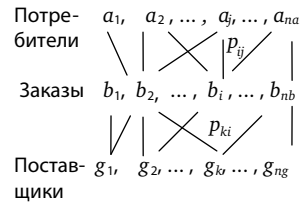


Рис. 6.5

Такая модель удобна, когда посредническая фирма комплектует заказы из продукции, получаемой от поставщиков, и затем реализует эти заказы потребителю.

Возможен также вариант применения модели для посреднических предприятий, обеспечивающих город или район сельскохозяйственной продукцией, товарами широкого потребления и т.п.

В такой задаче прежде всего необходимо оценить относительную значимость заказчиков a_j , выполняя условие нормирования либо по отношению к 100%: $\sum_{i=1}^{na} a_i = 100$, как принято в исходном варианте метода, либо по отношению к 1: $\sum_{i=1}^{na} a_j = 1$, как принято в методике ПАТТЕРН и чаще используется на практике.

Оценки $\{a_j\}$ можно получить не только непосредственно экспертным способом, но и на основе предшествующей (или накапливаемой) статистики реализации заказов.

Затем нужно оценить возможность (вероятность) реализации заказов. На рис. 6.5 вероятности продаж (собственной и конкурирующими фирмами) обозначены p_{ij} и нормированы $\sum_{i=1}^{nb} p_{ij} = 100$.

¹ Такая постановка задачи впервые была предложена и реализована средствами языка ТУРБО-СИ студенткой А. А. Кошкиной в 1996 г.

Теперь, зная a_1, \dots, a_{na} и используя решающую матрицу $\|p_{ij}\|$, можно согласно (6.4) получить относительные возможности фирм-посредников (включая собственную) $b_i = \sum_{j=1}^{na} p_{ij} a_j$.

Далее нужно оценить возможность (вероятность) приобретения товаров для комплектования заказов. На рис. 6.5 эти оценки вероятности приобретения продукции собственной и конкурирующими фирмами обозначены p_{ki} . Естественно, для каждой фирмы-поставщика относительные веса также нормированы: $\sum_{k=1}^{ng} p_k = 1$.

Каждая строка этой решающей матрицы характеризует относительную возможность (вероятность в широком смысле) приобретения i -й фирмой-посредником желаемого вида продукции, товаров для комплектования заказов.

Теперь, зная b_i и оценив $\|p_{ki}\|$, согласно (6.4) можно получить относительные веса поставщиков $g_k = \sum_{i=1}^{nb} p_{ki} b_i$, контролируя соответствующие условия нормирования $\sum_{k=1}^{ng} p_k = 1$ и $\sum_{k=1}^{ng} g_k = 1$.

В рассматриваемой модели (см. рис. 6.5) верхнюю и нижнюю страты можно поменять местами, подчеркнув в модели приоритет поставщиков (рис. 6.6).

Например, это может оказаться удобным, если фирма занимается поставкой зарубежной вычислительной техники на отечественный рынок. Модель для решения проблемы обеспечения эффективности функционирования такой фирмы путем выбора поставщиков и потребителей в каждый конкретный период времени приведена на рис. 6.6 (собственная фирма обведена).

В такой постановке задачи вначале оценивают значимость (престижность, надежность) поставщиков a_i . Эти оценки могут быть

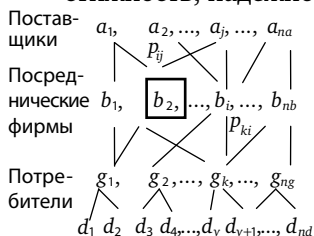


Рис. 6.6

получены не только экспертным путем. Во-первых, при оценке относительной значимости поставщиков можно организовать процедуру типа используемой в методике ПАТТЕРН, т.е. определить критерии оценки (престиж, надежность фирмы и т.п.), ввести их весовые коэффициенты и получить более точные оценки с учетом весовых коэффици-

ентов критериев. А, во-вторых, можно учесть косвенные количественные оценки (например, на основе имеющегося опыта общения с той или иной фирмой оценить надежность поставок, число поставляемых изделий и т.п.).

Можно также использовать смешанный подход — графически сопоставить экспертные и косвенные количественные оценки, выявить противоречивые и провести более тщательный анализ рынка изделий этой фирмы или рынка товара соответствующего вида с учетом значимости аналогичных товаров других фирм, для чего можно применить информационные модели рыночной ситуации, подобные рассматриваемым в параграфе 6.4.

Далее нужно оценить возможность (вероятность) приобретения товара (например, компьютеров разных типов, принтеров, модемов и т.п.).

На рис. 6.6 эти оценки вероятности продаж продукции собственной и конкурирующими фирмами обозначены p_{ij} .

Естественно, для каждой фирмы-поставщика относительные веса также нормированы: $\sum_{i=1}^{nb} p_{ij} = 100$, а каждая строка решающей матрицы характеризует относительную возможность (вероятность в широком смысле) приобретения i -й фирмой-посредником желаемого вида товаров соответствующей фирмы.

Теперь, зная a_1, \dots, a_{na} и используя решающую матрицу $\|p_{ij}\|$, можно, согласно (6.4), получить относительные возможности фирм-посредников (включая собственную) $b_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} a_j$.

В отличие от традиционного метода решающих матриц в данной модификации процедуру получения $\{b_i\}$ интересно повторить для различных видов приобретаемой продукции с тем, чтобы выбрать наиболее выгодный вариант для собственной фирмы. При этом такой анализ полезно дополнить экономическими оценками затрат на тот или иной вариант взаимодействия с фирмами-поставщиками. Можно также рассмотреть варианты взаимовыгодных соглашений с конкурирующими фирмами и учесть это в модели.

Далее нужно оценить возможность реализации конкретных видов изделий, опросив потребителей (что, естественно, не всегда

возможно) или оценив вероятность продаж аппаратуры того или иного вида группам потребителей (предприятия, вузы, школы и т.п.) на основе либо предшествующего опыта, либо мнений экспертов, изучавших рынок соответствующего вида товаров. Эти оценки на рис. 6.6 обозначены p_{ki} .

Аналогично рассмотренному выше подходу, зная b_i и оценив $\|p_{ki}\|$, можно получить относительные веса $g_k = \sum_{i=1}^{nb} p_{ki} b_i$.

Можно дополнить модель четвертой стратой, детализировав группы потребителей, и получить уточненные оценки вероятности продаж d_y . При этом, в отличие от традиционного метода, нижний уровень следует формировать не в виде неупорядоченного набора потребителей $\{d_y\}$, а в виде элементов предшествующего уровня иерархии, объединяемых в узлы g_k , и оценивать вначале относительную возможность (например, покупательную способность) конкретных потребителей в рамках группы (например, вероятность приобретения компьютеров коммерческими школами может быть больше вероятности приобретения тех же компьютеров школами с государственным финансированием), а затем для выполнения условия нормирования $\sum_{y=1}^{ny} d_y = 100$ умножить эти оценки на оценки соответствующей группы потребителей, т.е. на соответствующие оценки из множества $\{g_k\}$.

Если удовлетворительный вариант не получен, то следует повторить всю процедуру, изменив виды приобретаемых товаров, а, возможно, и соглашения с конкурирующими фирмами-посредниками.

При применении рассматриваемого подхода формирование и расположение страт зависит от конкретной задачи, проблемной ситуации. В реальных условиях необходимо создавать базы данных и накапливать в них информацию о возможных поставщиках и их характеристиках, о потенциальных возможностях потребителей. В перспективе в базе данных может потребоваться информация (с учетом оснащенности ее соответствующей вычислительной техникой) о конкурирующих предприятиях-посредниках и т.п. Также полезно сохранять варианты решений, полученные в процессе моделирования, с тем чтобы анализировать тенденции изменения рыночной ситуации.

Понятно, что реализация рассматриваемого подхода — достаточно трудоемкая задача и практически невозможна без автоматизации. Поэтому необходимо разрабатывать соответствующие автоматизированные диалоговые процедуры, которые должны предоставлять пользователю возможность ввода количества уровней (страт) модели, количества и наименования составляющих и оценок для каждой из страт. А при применении метода оценки с учетом весовых коэффициентов критериев должны быть обеспечены возможности ввода количества и наименования критериев оценки и их весовых коэффициентов, диалога с пользователем и представления итоговых результатов в удобной для ЛПР форме. Процедуры реализованы студентами СПбГПУ различными программными средствами — TURBO-SI, FOXPRO, СУБД, CLIPPER [4].

Планирование деятельности предприятий малых форм, производящих товары широкого потребления. В условиях рыночной экономики необходимо планировать деятельность предприятия, производящего новые технические средства широкого потребления (например, для предприятия, занимающегося сборкой изделий вычислительной или аудио-видео техники из приобретаемых комплектующих, в том числе зарубежных).

Модель должна позволять (рис. 6.7) определить вначале платежеспособный спрос на продукцию потребителей, а затем возможности приобретения необходимых комплектующих, учитывая поведение конкурентов (собственная фирма на рис. 6.7 обведена).

Можно также поставить задачу и для производящей фирмы, которая берет и использует кредиты для изготовления изделий, ставя задачу возвращения кредита и получения дополнительных средств от реализации изделий для развития предприятия¹.

В этой задаче на верхней страте расположены банки, к которым можно обратиться для получения кредита (рис. 6.8). Банки можно

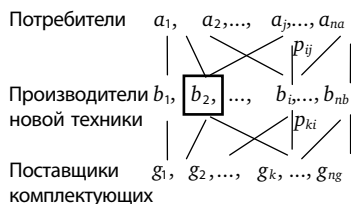


Рис. 6.7

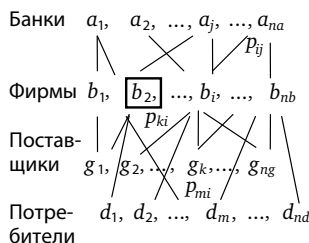


Рис. 6.8

¹ Пример подготовлен студентами СПбГТУ М. Науменко и Д. Лукиным в 1996 г.

оценивать с точки зрения их рейтинга, надежности, возможности получения кредита и т.п. характеристик. Оценки получают экспертным путем и на основе накапливаемого опыта общения с банками рассматриваемого предприятия и конкурирующих с ним фирм.

Затем, в отличие от предыдущих примеров нижняя страта реализуется в форме двух как бы параллельных, поскольку необходимо оценить вклад в эффективную деятельность предприятия как поставщиков комплектующих, так и потребителей производимых изделий вычислительной и аудио-видео техники.

Программная процедура может быть подобна рассмотренной с учетом того, что нужно дважды повторять обращение к модулю оценки взаимоотношений предприятия с нижележащим уровнем, оценивая взаимоотношения с поставщиками и с потребителями.

Используя метод решающих матриц и его модификации и сформировав многоуровневую структуру факторов, влияющих на создание и функционирование предприятий (организаций), можно провести более тщательный анализ вклада конкретных факторов нижнего уровня этой структуры на процесс проектирования и функционирования предприятия. При этом наряду с оценками относительной значимости нижележащих компонент на вышележащие, на каждом уровне компоненты могут быть количественно оценены с помощью детерминированных или вероятностных характеристик, получаемых на основе анализа предшествующего опыта. Эти оценки можно рассматривать как косвенные количественные оценки.

Еще более объективный анализ можно получить с помощью методов организации сложных экспертиз, основанных на использовании информационного подхода.

6.4. Методы организации сложных экспертиз, базирующиеся на использовании информационного подхода

В этом параграфе рассматривается группа методов организации сложных экспертиз, разработанных на базе информационного

подхода к анализу систем, охарактеризованного в гл. 3, и методов структуризации систем.

Структуризация помогает расчленить большую неопределенность на более обозримые, что способствует повышению объективности и достоверности анализа. Структуризация целей, факторов, проблем помогает уточнить представление о них, распределить их по уровням иерархии и оценивать последовательно влияние составляющих нижележащих уровней на вышележащие, что способствует повышению объективности и достоверности анализа.

Информационный подход позволяет последовательно оценивать степень целесообразности анализируемых составляющих, т.е. влияние составляющих нижележащих уровней стратифицированной модели на вышестоящий, обеспечивает более удобную обработку оценок, возможность сочетать вероятностные оценки с количественными детерминированными характеристиками, что также способствует повышению объективности и достоверности оценок, и, кроме того, позволяет на основе изменения измеряемых детерминированных параметров получать динамику изменения степени влияния подцелей, факторов, средств на реализацию целей предприятия (организации). Подход изложен в гл. 3.

Разработаны три вида методов этой группы:

- 1) оценка степени целесообразности анализируемых составляющих исследуемых систем, позволяющие получать обобщенную оценку в многокритериальных задачах с разнородными критериями;

применяется для сравнительного анализа нововведений при выборе проектов и их конфигурации; при формировании «портфеля заказов» в НПО и т.п.;

- 2) сравнительный анализ сложных систем в течение определенного начального периода их проектирования (внедрения, развития) путем сопоставления изменения информационных оценок во времени;

применяется для сравнительного анализа разнородных нововведений, технических комплексов, конфигурации проектов и т.п.; позволяет принимать решения о целесообразности продолжения их внедрения, разработки, дальнейшего инвестирования и др.;

3) оценка ситуаций, описываемых информационными уравнениями в статике и динамике с учетом взаимного влияния компонент;

применяется при проведении маркетинговых исследований, анализе рыночных ситуаций с учетом взаимного влияния товаров, для сравнительного анализа проектов с учетом взаимовлияния в процессе проектирования и др.

Суть этих методов рассматривается на примерах управления нововведениями и анализа рыночных ситуаций.

Информационные модели управления внедрением нововведений

Первоначально метод организации сложных экспертиз, основанный на использовании информационных оценок, был предложен и реализован в процессе проведения эксперимента по разработке и внедрению нововведений в систему управления научно-исследовательской деятельностью в высшей школе [22, 23].

В процессе проведения эксперимента были поставлены задачи исследования возможности и полезности внедрения в практику управления научными исследованиями в высшей школе как форм, уже ранее используемых в промышленности (например, заказ-наряды, комплексные программы, фонды экономического стимулирования и т.д.), так и принципиально новых, специфичных только для высшей школы форм (территориальные межвузовские центры обслуживания на основе межвузовской кооперирования и специализации; территориальные центры, базирующиеся на кооперации вузов и промышленных предприятий и др.). Эти новые формы управления научными исследованиями в высшей школе были направлены на внедрение программно-целевых принципов в планирование и управление, улучшение использования результатов проводимых в высшей школе научных исследований в промышленности, усиление влияния этих результатов на повышение качества подготовки специалистов, интеграцию высшей школы, науки и производства. По мере развития эксперимента необходимо было оценивать эффективность проверяемых организационных форм управления и разрабатывать рекомендации о целесообразности распространения их на другие вузы, не принимавшие участия в эксперименте. В соответствии с этим была поставлена задача разработки методики сравнительной оценки влияния отдельных НВВ (в основном, организационного типа) и их комплексов на реализацию целей, поставленных при проведении эксперимента.

Затем этот метод применялся для оценки влияния нововведений различного вида (в технике, технологии) на реализацию целей действующих промышленных предприятий и объединений; влияния организационно-технических мероприятий по техническому перевооружению производства, совершенствованию системы управления и других мероприятий на хозрасчетный доход предприятия, а разработанная на его основе методика и автоматизированная процедура ее реализации были включены в состав методического и программного обеспечения деятельности предприятия будущего при разработке его проекта.

В последующем разработан ряд моделей для управления проектами сложных технических комплексов, помогающих принимать решения о целесообразности продолжения их внедрения, разработки, дальнейшего инвестирования, для анализа рыночных ситуаций и т.п.

Для пояснения методов приведем примеры.

Деятельность развивающегося предприятия (организации) связана с непрерывным обновлением действующего оборудования, технологических процессов, применяемых материалов, совершенствованием процесса организации труда и управления предприятием. Это непрерывное совершенствование средств, предметов и процесса трудовой деятельности достигается путем разработки и внедрения нововведений в различные сферы деятельности (обновление продукции, техники, технологии, методов управления), которые, как правило, разрабатывают и внедряют не по очереди, а одновременно.

При внедрении НВВ возникает задача определения приоритетности, очередности их внедрения. При решении задачи следует учитывать особенности НВВ и условий их внедрения.

При оценке эффективности НВВ необходимо учитывать разнообразные внешние и собственные факторы, в условиях которых функционирует и развивается конкретное производство. При этом очевидно, что социальный и даже экономический эффект не всегда могут быть выражены в денежном исчислении. Используемые при этом косвенные показатели стараются свести в обобщающий показатель, применяя в качестве универсальной меры стоимостные единицы. Но такая подмена прямых показателей (косвенными

стоимостными) не всегда возможна, особенно в системах непромышленного типа.

Трудности оценки эффективности организационных НВВ (особенно в непромышленной сфере) связаны также с тем, что большинство из них не имеет аналогов и предыстории развития, а следовательно, для них характерно отсутствие статистических данных, необходимых для проведения традиционных расчетов экономической эффективности. Кроме того, внедрение нововведений, как правило, вступает в противоречие со стремлением получить как можно больший доход в короткие сроки. В этих условиях особое внимание нужно уделять обоснованию влияния НВВ на реализацию перспективных целей предприятия, сравнительной оценке влияния на цели разных НВВ.

И, наконец, следует иметь в виду, что часто нововведения, особенно организационного типа, — не одноразовые мероприятия, а носят длительный характер, причем одновременно могут внедряться несколько НВВ. В связи с этим возникает необходимость управления ходом внедрения НВВ, что связано с их промежуточной оценкой и разработкой на этой основе рекомендаций о целесообразности продолжения или прекращения их экспериментального внедрения, перераспределении выделенных на их реализацию финансовых ресурсов. Это требует не только сопоставления разных оценок друг с другом, но и оценок одного и того же НВВ на разных этапах его развития, а их, в свою очередь, — с аналогичными оценками других НВВ, внедряемых одновременно.

В ряде ситуаций можно применить косвенные количественные оценки, метод решающих матриц. Однако эти методы не всегда позволяют разработать модели оценки НВВ, адекватно отображающие реальные ситуации.

Рассмотренные особенности НВВ и трудности оценки их эффективности инициировали разработку новых методов организации сложных экспертиз, в основу которых положен информационный подход.

Применение информационных моделей 1-го вида. Применение информационных моделей 1-го вида основано на оценке степени влияния НВВ на реализацию целей предприятия (организации) в анализируемый период развития. В соответствии с информационным подходом (см. табл. 3.1 в гл. 3) для оценки каждого НВВ

(рис. 6.9) вводятся оценки *степени целе-соответствия* (т.е вероятности достижения цели) p'_i и *вероятности использования* q_i и вычисляется потенциал (значимость) H_i нововведения:

$$H_i = -q_i \log(1 - p'_i), \quad (6.5)$$

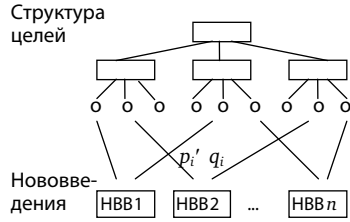


Рис. 6.9

где p'_i — вероятность достижения цели при использовании нововведения; q_i — вероятность использования конкретного НВВ при реализации, достижении соответствующей подцели.

Здесь привычная шенноновская вероятность недостижения цели (энтропия) p_i заменяется на сопряженную $(1 - p'_i)$.

Совокупное влияние нововведений определенной группы (например, объединяемых общей подцелью):

$$H = -\sum_{i=1}^n q_i \log(1 - p'_i). \quad (6.6)$$

Используя характеристики p' , q и H , можно получить сравнительные оценки влияния НВВ и их комплексов на достижение подцелей, этих подцелей — на достижение подцелей вышестоящего уровня и т.д. до глобальной цели, и подобно методу решающих матриц заменить трудную оценку влияния НВВ на конечную (глобальную) цель пошаговой оценкой более «мелких» неопределенностей.

Вычисление H_i на основе оценок p'_i и q_i обеспечивает предлагаемому подходу некоторые преимущества по сравнению с методом решающих матриц и оценками методики ПАТТЕРН. Эти преимущества заключаются в следующем: упрощается получение обобщенных оценок влияния комплексов НВВ или подцелей, так как H_i , измеряемые в битах, можно просто суммировать, а при обработке вероятностных оценок приходится применять более сложные процедуры; появляется возможность оценивать не только степень (вероятность) p'_i влияния i -го НВВ на реализацию целей, но и возможность учесть вероятность q_i использования этого НВВ в конкретных условиях в текущий период (что в ряде ситуаций может быть оценено и на основе статистических исследований).

В то же время рассмотренный способ использования информационных оценок еще не решает всех проблем сравнительной оценки НВВ в процессе их внедрения, и, кроме того, остается необходимость получения экспертных оценок p_i на текущий момент, что всегда вызывает затруднения у экспертов, им легче давать прогнозные оценки степени влияния НВВ на некоторую перспективу. Поэтому в ряде ситуаций целесообразно дополнить рассмотренный способ оценки информационной моделью 2-го вида.

Применение информационных моделей 2-го вида. Применение информационных моделей 2-го вида основано на сравнительном анализе сложных систем в течение определенного начального периода их проектирования (внедрения, развития) путем сопоставления изменения информационных оценок во времени. Можно использовать два способа измерения H_i :

- 1) через вероятность p_i' (6.5);
- 2) посредством детерминированных характеристик воспринимаемой информации:
 - в статике в какой-то момент внедрения НВВ (принимая среднеарифметическое усреднение, т.е. $\gamma = 1$):

$$H_i = J_i / n_i; \quad (6.7)$$

- с учетом процесса внедрения НВВ и его динамики

$$H_i = J_i / n_i + \tau_i dJ_i / dt + L_i d^2J_i / dt^2, \quad (6.7a)$$

где при вычислении $J_i = A_i / \Delta A_i$ A_i можно интерпретировать как количество изделий или объем реализуемой продукции нового вида; число подразделений, внедряющих новую технику, технологию; число внедряемых единиц новой техники; число подразделений, внедряющих новые формы планирования и т.д.; ΔA_i характеризует, с какой степенью точности нужно учитывать A_i в конкретных условиях (например, с точностью до единиц, десятков или сотен новых изделий, до тысяч или сотен тысяч рублей при оценке объема реализуемой продукции, до единиц или десятков подразделений, внедряющих НВВ и т.д.), т.е. с помощью ΔA_i задаются единицы измерения, которые могут быть различными; n_i — объем

понятия о НВВ, необходимый для получения потенциала H_i при выбранном ΔA_i (n_i можно интерпретировать, например, как охват данным НВВ соответствующей подцели); dJ_i/dt — скорость внедрения НВВ (т.е. количество НВВ данного вида, внедряемое в единицу времени); τ_i — минимальное время внедрения НВВ (с учетом выбранного ΔA_i); d^2J_i/dt^2 — ускорение, т.е. приращение скорости внедрения НВВ в единицу времени; L_i — характеристика ригидности системы, сопротивляемости внедрению НВВ (L_i может быть посчитана как величина, обратная отношению разности скоростей внедрения НВВ к промежутку времени между ними, т.е. она интересна в случае процесса массового внедрения НВВ).

Использование двух способов определения H_i позволяет при известном H_i (вычисленном через p_i') и измеренном J_i вычислять

$$n_i = J_i / H_i. \quad (6.8)$$

Тогда, оценив прогнозную p_{ik}' на конец этапа внедрения НВВ, что специалисту сделать легче, чем давать оценки p_{it}' на текущий момент при контроле хода внедрения НВВ, можно вычислить H_{ik} и n_i , а затем по оценкам значений критериев (прямых или косвенных характеристик состояния внедрения НВВ) определить J_{it} в различные моменты времени (начальный, текущий) и вычислить значения

$$H_{it} = J_{it} / n_i \quad (6.9)$$

для этих моментов времени по всем сопоставляемым НВВ, которые затем можно суммировать, получать обобщенные оценки комплексов НВВ, вычислять относительную значимость отдельных НВВ этих комплексов, т.е. оперировать H , выраженными в универсальных относительных единицах или битах, как стоимостными оценками.

При этом, если удастся ориентировочно оценить ожидаемую эффективность от внедрения НВВ в стоимостных единицах (что неизбежно делается при выделении средств для их экспериментального внедрения), то оценки H_{it} помогают распределять средства на отдельные НВВ, принимать решения о перераспределении средств в процессе внедрения с учетом его хода.

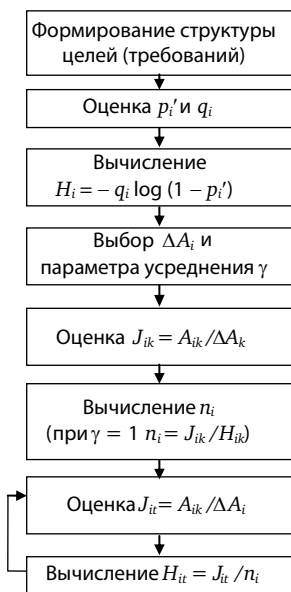


Рис. 6.10

Укрупненный алгоритм реализации рассматриваемого метода организации сложной экспертизы (без учета динамики становления НВВ) приведен на рис. 6.10.

При оценке НВВ может быть использовано несколько критериев для каждого из них. В этом случае оценка H_{ik} , полученная с помощью прогнозной оценки p'_{ik} , делится между этими критериями пропорционально q_i , которая в данном случае может характеризовать степень влияния соответствующего критерия (показателя), с помощью которого оценивается ход внедрения НВВ, а далее для каждого из критериев определяются n_i , H_{it1} , H_{it2} , ..., H_{itj} , ..., как это проиллюстрировано на рис. 6.11, на котором приведен пример¹ оценки двух организационно-технических мероприятий из плана научно-технического прогресса.

Для оценки второго из них принят один, а для оценки первого — два критерия, в качестве весовых коэффициентов которых использован параметр q_i , т.е. $H_k^l = q_i H_k$.

Из примера следует, что при учете изменения параметров J в процессе внедрения НВВ могут измениться их предпочтения: первоначально относительная значимость первого НВВ была выше, а через какой-то период стала ниже, чем второго.

Таким образом, при применении информационного подхода можно обеспечить возможность управления ходом внедрения НВВ.

В качестве нововведения можно также рассматривать товар как новый вид продукции, производимой предприятием. Особенно, если продукция представляет собой сложные технические изделия (в том числе вычислительную технику) или комплексы программных продуктов. В этом случае задача может быть поставлена как задача маркетинга, помогающая заказчику совместно с разработчиком выбрать желаемую конфигурацию технического изделия или комплектацию программного продукта.

¹ Пример подготовлен студенткой *Е. И. Черник* в 1989 г.

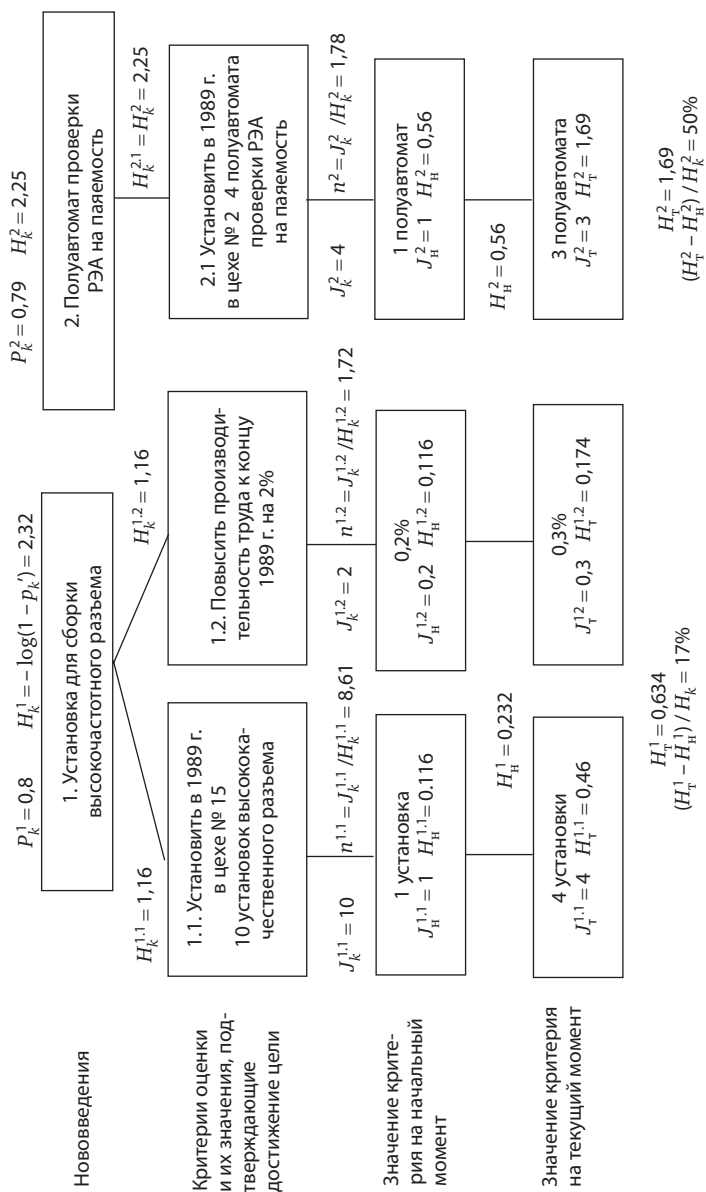


Рис. 6.11

Информационные модели анализа ситуаций

При определении целесообразности создания (сохранения, реконструкции) предприятия (организации) необходим анализ состояния рынка сбыта его продукции или потребности в его услугах. Причем в условиях неопределенности рыночной экономики важно постоянно следить за состоянием рынка и своевременно корректировать объемы выпуска продукции, ее номенклатуру. Поэтому на начальном этапе маркетинговых исследований может быть предусмотрен подэтап моделирования рынка для выбора товара (вида выпускаемой продукции, услуг), обеспечивающего наибольшую эффективность деятельности предприятия (организации).

Анализ рыночной ситуации с использованием 1-й информационной модели. Понятие рынка и товара для предприятий и организаций различного вида могут существенно различаться. Например, можно ставить практически ту же проблему не в терминах рынка и товара, а в форме определения потребности в продукции, услугах, выпускниках, или разработки производственной программы предприятия. Есть некоторые общие условия решения этой проблемы и принципы, которые нужно отразить в модели для ее анализа.

Эти общие условия постановки проблемы можно получить на основе анализа взаимодействия предприятия (организации) со сложной средой, определяемой закономерностью коммуникативности.

Надсистема помогает выявить возможные заказы на продукцию или услуги предприятия, в том числе и госзаказы или работы, включенные в крупные целевые программы ведущих предприятий отрасли или крупных фирм. При анализе взаимодействия с *актуальной средой* необходимо выявлять производителей таких же или аналогичных товаров (конкурирующая или *конкурентная среда*), производителей (поставщиков) комплектующих изделий, материалов, деталей и т.д., необходимых для предприятия (*дружественная среда*); следует также учесть наличие на биржах сопутствующих товаров и товаров, которые выпускает или собирается выпускать рассматриваемое предприятие; существенной может оказаться и *безразличная среда*, т.е. наличие на рынках сбыта казалось бы не аналогичных и не сопутствующих товаров, но все же оказывающих влияние на реализацию выпускаемой про-

дукции. Например, учет особенностей региона влияет на структуру его промышленности (например, в аграрной стране нецелесообразно развивать крупное машиностроение); следует также при выборе продукции для производства учитывать и влияние на экологию.

Потребности *подведомственной среды (системы)* ничтожно малы по сравнению с рассмотренными, но ее возможности играют важную роль в определении вида выпускаемого товара. В частности, при разработке производственной программы предприятия этот фактор являлся одним из основных, и большинство моделей, предлагавшихся для определения производственной программы, базировались на максимизации использования производственных мощностей (загрузки оборудования и др.), что было оправдано для государственных предприятий, работавших по централизованным государственным планам и целевым программам, но недостаточно в условиях рыночной экономики.

Следует также обратить внимание и на важность учета инициатив «внутренней» среды (*собственно системы*), так как побуждения и программы активных элементов системы являются весьма действенным источником негэнтропийных тенденций, т.е. самоорганизации, развития предприятия.

Потребности могут определяться и на основе результатов анализа факторов, влияющих на функционирование и развитие предприятия. В этом случае целесообразно повторить процедуру анализа среды для уточнения потребностей. На основе такого анализа можно определить виды товаров, в которых ощущается потребность в конкретном регионе, в конкретный период. Можно сформулировать проблему и шире: определить потребность в конкретных товарах в стране, в других отраслях и странах, для чего необходим специальный, более тщательный анализ биржевой, производственной, научно-технической информации.

Из возможных видов товаров нужно выбрать конкретный вид (или несколько) для создаваемого предприятия и постоянно корректировать номенклатуру и объемы выпускаемой продукции в процессе его функционирования, особенно в новых экономических условиях.

В большинстве реальных ситуаций до сих пор проблема выбора продукции решается простыми экспертными методами. Для повышения объективности принятия решений о выборе поставщиков и потребителей можно применить модели организации сложных экспертиз, базирующихся на идее решающих матриц. Однако пер-

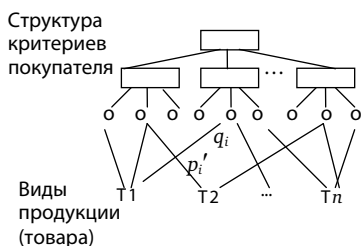


Рис. 6.12

приобретения и внедрения с точки зрения конкретных функций этой фирмы.

Учесть не только оценку своего товара предприятием p_i' , но и вероятность использования этого товара потребителем q_i , позволяет информационная модель 1-го вида (рис. 6.12), основанная на информационной оценке H_i (см. формулу (6.5)).

Такая оценка удобна для любой рыночной ситуации покупки-продажи. Но особенно она важна для сложных технических комплексов, программных продуктов.

При покупке-продаже серийной продукции можно применить и информационную модель 2-го вида, которая помогает покупателю вначале оценить полезность небольших партий товаров в течение определенного периода, и на этой основе выбрать наиболее значимые товары.

При анализе рыночных ситуаций полезно также применить информационные модели 3-го вида, позволяющие учесть взаимное влияние товаров на их реализацию.

Моделирование рыночной ситуации с учетом взаимного влияния товаров (3-я информационная модель). Для анализа сегментов рынка с учетом взаимного влияния товаров могут быть использованы информационные модели, базирующиеся на оценке значимости (ценности, цены) H товара и на более полной оценке, учитывающей количество товаров на рынке — оценке содержания рынка $C = J \times H$, где J — информация о количестве товаров на рынке, измеряемая в относительных единицах, т.е. $J_i = A_i / \Delta A_i$, где ΔA_i — минимальное количество товара i -го вида, интересующее покупателя, которое определяет единицу измерения A_i ; $H_i = J_i / n_i$, n_i — емкость рынка для товара i -го вида.

Рыночная ситуация без учета количества товаров на рынке в конкретный момент может быть описана следующим образом:

спективной в условиях многоукладной экономики представляется разработка моделей, основанных на информационных оценках, которые позволяют учесть одну из главных задач маркетинга научно-производственной фирмы — предоставление фирме-покупателю возможности выбора приобретаемой продукции, оценки целесообразности ее

$$\begin{aligned}
 H_1 &= f(H_{11}, H_{12}, H_{13}, \dots); \\
 H_2 &= f(H_{21}, H_{22}, H_{23}, \dots); \\
 H_3 &= f(H_{31}, H_{32}, H_{33}, \dots).
 \end{aligned}
 \tag{6.10}$$

Совокупность зависимостей (6.10), отражающая взаимосвязь и взаимозависимость всех элементов информационной модели, для данного приложения может быть интерпретирована следующим образом: H_1, H_2, H_3, \dots — значимость (сущность) 1-го, 2-го, 3-го и т.д. товаров на рынке (пространстве их возможного сбыта), т.е. ценность («цена») этих товаров; $H_{11}, H_{22}, H_{33}, \dots, H_{ii}, \dots$ — собственная значимость (ценность, «себестоимость», «цена») 1-го, 2-го, 3-го, i -го, \dots товара при отсутствии на рынке других товаров, влияющих на его ценность; $H_{12}, H_{13}, H_{21}, H_{23}, \dots, H_{ij}, \dots$ — изменение ценности i -го товара при наличии на рынке j -го товара.

Изменение ценности H_{ij} может иметь отрицательное (конкуренция) и положительное значение (например, увеличение производства и продажи автомобилей повышает спрос на запчасти к ним).

В случае интерпретации H_i как ценности товара, влияющей на его цену, зависимости (6.10) могут быть заменены линейными уравнениями, в которых изменения цены нужно подставлять с соответствующими положительными или отрицательными знаками:

$$\begin{aligned}
 H_1 &= H_{11} + H_{12} + H_{13} + \dots; \\
 H_2 &= H_{21} + H_{22} + H_{23} + \dots; \\
 H_3 &= H_{31} + H_{32} + H_{33} + \dots.
 \end{aligned}
 \tag{6.11}$$

Соотношения (6.11) можно использовать как средство опроса экспертов и прогнозирования цены при получении сведений о возможных партнерах по рынку. Но можно предложить и более развернутую информационную модель для описания рыночной ситуации.

Значимость товаров на рынке можно измерить детерминированно и с использованием вероятностных оценок. При детерминированном способе можно принимать разные усреднения. Выбрав

простейшее из них (см. табл. 3.1), основанное на законе формальной логики ($\gamma = 1$), имеем

$$\begin{aligned} H_1 &= J_1/n_{11} + J_2/n_{12} + J_3/n_{13} + \dots; \\ H_2 &= J_1/n_{21} + J_2/n_{22} + J_3/n_{23} + \dots; \\ H_3 &= J_1/n_{31} + J_2/n_{32} + J_3/n_{33} + \dots, \end{aligned} \quad (6.12)$$

где $J_1, J_2, J_3, \dots, J_i, \dots$ — информации об объеме товара i -го вида на рынке, измеряемые в относительных единицах с учетом минимально интересующего ЛПР объема товара A_i , т.е. $J_i = A_i / \Delta A_i$ (это необходимо для совмещения в одной модели товаров различного вида, измеряемых в различных единицах и с разной точностью до единиц, десятков, сотен тысяч и т.д.; ΔA_i определяет единицу измерения и выбирается ЛПР); n_{ii} — емкость рынка для товаров соответствующего вида; n_{ij} — емкость рынка для товара i -го вида при наличии на рынке товара j -го вида. Информацию в данном случае можно заменить непосредственно материальными объектами $M_j = A_{mi} / \Delta A_{mi}$.

Соотношения (6.12) позволяют поставить оптимизационную задачу определения значимости (цены) интересующего ЛПР товара: фиксируя все остальные H , кроме выбранного для анализа, можно записать их в виде ограничений, а выбранное соотношение превратить в целевую функцию, добиваясь его максимизации (или минимизации). Поставив две задачи — максимизации и минимизации — можно варьировать цену между ними, достигая оперативного сбыта товара.

Поставив несколько оптимизационных задач для различных товаров и определив их предельные экстремальные значения, можно использовать полученные результаты для принятия решений о выборе товара для будущего предприятия, о необходимости изменения номенклатуры и объемов выпускаемой продукции для действующего.

Выбрав два способа измерения H_i — детерминированный и статистический, — можно поставить задачу прогнозирования цены на основе вероятностной оценки ее в перспективе (роста или падения) и отслеживания текущих параметров J_i . Два способа измерения H_i

можно использовать и при затруднениях с оценкой n_{ii} : оценив H_i вероятностным способом и зная J_i , можно вычислить $n_{ii} = J_i/H_i$.

Между тем, оценка H_i системы или ее элементов еще не дает полного представления о ней (в данном случае о ситуации на рынке сбыта товаров или продукции), поскольку H_i является удельной характеристикой в расчете на единицу материи или информации о ней.

Более полной характеристикой является содержание системы или ее элементов, которое получается путем декартова произведения H_i на количество материи M_i или информации J_i , т.е. $C_i = M_i \cdot H_i$ или $C_i = J_i \cdot H_i$ (напомним, что между M_i и J_i существует зависимость $J_i = R_i M_i$, где R_i — информационная проницаемость, характеризующая точность восприятия исследуемых объектов или их материальных свойств).

Умножив все составляющие в (6.12) на соответствующие им J_i , получим модель, характеризующую рынок в статике:

$$\begin{aligned} C_1 &= J_1^2/n_{11} + J_1J_2/n_{12} + J_1J_3/n_{13} + \dots; \\ C_2 &= J_1J_2/n_{21} + J_2^2/n_{22} + J_2J_3/n_{23} + \dots; \\ C_3 &= J_1J_3/n_{31} + J_2J_3/n_{32} + J_3^2/n_{33} + \dots, \end{aligned} \quad (6.13)$$

где $J_1, J_2, J_3, \dots, J_i, \dots$ — информация об объеме товаров i -го вида на рынке (также измеряемая в относительных единицах, что позволяет совмещать в одной модели товары различного вида с разными единицами измерения); n_{ii} — емкость рынка для товара i -го вида; n_{ij} — емкость рынка для товара i -го вида при наличии на рынке товара j -го вида.

На основе (6.13) также можно поставить оптимизационные задачи относительно разных товаров и использовать полученные результаты при принятии решений о выборе товара (продукции для производства, услуг), о целесообразности изымать из продажи или временно уменьшать выпуск товаров, на реализацию которых ситуация на рынке оказывает неблагоприятные воздействия, или, напротив, — о необходимости оперативно увеличивать выпуск продукции, если ситуация на рынке благоприятна для ее реализации.

Модель (6.13) описывает ситуацию на рынке, на котором не происходит изменений спроса и предложения. Можно учесть и дина-

мику рынка, которая описывается моделями типа (3.30), учитывающими изменения спроса и предложения:

$$\begin{aligned}
 H_1 &= J_1/n_{11} + J_2/n_{12} + \dots + \tau_{11} dJ_1/dt + \tau_{12} dJ_2/dt + \\
 &+ L_{11} d^2J_1/dt^2 + L_{12} d^2J_2/dt^2 + \dots \\
 &\dots \\
 H_2 &= J_1/n_{21} + J_2/n_{22} + \dots + \tau_{21} dJ_1/dt + \tau_{22} dJ_2/dt + L_{21} d^2J_1/dt^2 + L_{22} d^2J_2/dt^2 + \dots, \\
 &\dots
 \end{aligned} \tag{6.14}$$

$$\begin{aligned}
 H_i &= J_i/n_{ii} + J_j/n_{ij} + \dots + \tau_{ii} dJ_i/dt + \tau_{ij} dJ_j/dt + L_{ii} d^2J_i/dt^2 + L_{ij} d^2J_j/dt^2 + \dots, \\
 &\dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_m &= J_1/n_{m1} + J_2/n_{m2} + \dots + J_m/n_{mm} + \tau_{m1} dJ_1/dt + \tau_{m2} dJ_2/dt + \dots + \\
 &+ \tau_{mm} dJ_m/dt + L_{m1} d^2J_1/dt^2 + L_{m2} d^2J_2/dt^2 + \dots + L_{mm} d^2J_m/dt^2
 \end{aligned}$$

или с учетом текущих J :

$$\begin{aligned}
 C_1 &= J_1^2/n_{11} + J_1J_2/n_{12} + \dots + \tau_{11} J_1' dJ_1/dt + \tau_{12} J_1' dJ_2/dt + \\
 &+ L_{11} J_1'' d^2J_1/dt^2 + L_{12} J_1'' d^2J_2/dt^2 + \dots, \\
 C_2 &= J_1J_2/n_{21} + J_2^2/n_{22} + \dots + \tau_{21} J_2' dJ_1/dt + \tau_{22} J_2' dJ_2/dt + \\
 &+ L_{21} J_2'' d^2J_1/dt^2 + L_{22} J_2'' d^2J_2/dt^2 + \dots,
 \end{aligned} \tag{6.15}$$

$$\begin{aligned}
 C_i &= J_i^2/n_{ii} + J_jJ_i/n_{ij} + \dots + \tau_{ii} J_i' dJ_i/dt + \tau_{ij} J_i' dJ_j/dt + \\
 &+ L_{ii} J_i'' d^2J_i/dt^2 + L_{ij} J_i'' d^2J_j/dt^2 + \dots,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_m &= J_1J_m/n_{m1} + J_mJ_2/n_{m2} + \dots + J_m^2/n_{mm} + \tau_{m1} J_m' dJ_1/dt + \tau_{m2} J_m' dJ_2/dt + \dots + \\
 &+ \tau_{mm} J_m' dJ_m/dt + L_{m1} J_m'' d^2J_1/dt^2 + L_{m2} J_m'' d^2J_2/dt^2 + \dots + L_{mm} d^2J_m/dt^2.
 \end{aligned}$$

В соотношениях (6.14) и (6.15) J'_i и J''_i отражают динамику изменения J_i для товара i -го вида; τ_{ii} — минимальное время изменения J_i на единицу при отсутствии изменений спроса на иные товары; τ_{ij} — то же при наличии изменений спроса на единицу продукции j -го вида; L_{ii} — квадрат минимального времени изменения спроса на единицу продукции i -го вида; L_{ij} — то же при наличии изменений спроса на продукцию j -го вида; dJ_i/dt и d^2J_i/dt^2 — скорость и ускорение изменения соответствующих C_τ и C_L .

Соотношения (6.14) и (6.15) позволяют поставить оптимизационные задачи, преобразуя любое из входящих в них уравнений в целевую функцию, а остальные уравнения — в ограничения. Задачи можно поставить относительно товаров любого вида, входящих в эти соотношения, и осуществлять на их основе выбор вида продукции или услуг, которые позволят предприятию (организации) получить максимальную прибыль с учетом условий реализации товара.

В случае (6.15) постановка и решение оптимизационных задач, конечно, существенно усложняется; для облегчения можно вначале вычислить H_{ij} , а затем подставить их в соотношения для C . Напомним, что H можно вычислять и вероятностным способом.

Обратим внимание на тот факт, что все результаты (в том числе и при постановке на основе информационных моделей оптимизационных задач), получаются в относительных единицах или в битах (при статистическом измерении H); можно использовать и другую логарифмическую шкалу — десятичные или восьмеричные логарифмы (в последнем случае информация и H будут измеряться в байтах).

Такие результаты можно использовать только для сопоставительного анализа, что неудобно в случае оптимизации цены. Но если зафиксировать хотя бы одну цену товара в рублях, то несложно перевести все информационные оценки H в рубли (составив соответствующие пропорции).

При сопоставлении результатов моделирования в относительных или логарифмических единицах удобно применять графическое представление результатов в виде гистограмм.

Практическая реализация рассмотренных информационных моделей трудоемка. Она посильна для крупных предприятий (при определении производственной программы в новых условиях

рыночной экономики, когда необходимо заботиться о реализации продукции, чтобы получить доход и средства для развития производства), но практически неосуществима для малых товариществ, акционерных обществ и других новых форм малых предприятий. Для помощи им целесообразно при администрациях города, района создавать соответствующие консультативные центры, которые осуществляли бы формирование банков данных о потребностях и производимой продукции региона, определяли бы дефицитные товары и предоставляли бы возможность для желающих принять решения о создании предприятия (с использованием своих технических средств, баз данных и программного обеспечения информационного моделирования) формировать и анализировать модели для определения дефицитных товаров, из которых они могли бы выбрать вид производимой продукции.

Такие консультативные центры могли бы оказывать помощь и администрации в проведении инвестиционной политики и определенного регулирования процессов создания и развития предприятий на своей территории. Эти центры могли бы также создавать базы данных нормативно-правовой документации, подобные рассматриваемым в гл. 6, и оказывать соответствующую консультативную помощь предприятиям в определении своих юридических прав, подготовке и регистрации уставов предприятий и т. д.

Таким образом, результаты, полученные на основе использования информационных моделей, можно использовать при принятии решений о выборе товара (продукции, услуг), о целесообразности уменьшать выпуск товаров, для реализации которых ситуация на рынке неблагоприятна, или, напротив, — о необходимости оперативно увеличивать выпуск продукции, если ситуация на рынке благоприятна для ее реализации.

Исследуя соотношения (6.14) или (6.15) с применением критериев типа Рауса — Гурвица, можно оценить устойчивость рыночной ситуации.

**Особенности методов
анализа сложных
экспертиз, основанных на
информационном подходе**

Методы организации сложных экспертиз на основе применения информационных оценок имеют ряд преимуществ

по сравнению с методом решающих матриц и оценками, предложенными в методике ПАТТЕРН:

- облегчают вычисление обобщенной оценки (при преобразовании оценки p_i в H_i она получается простым суммированием);
- обеспечивают возможность учета не только степени (вероятности) влияния p_i i -й компоненты проекта, НВВ и т.п., на реализацию целей (требований к проекту), но и вероятности q_i использования этой компоненты или НВВ в конкретных условиях;
- позволяют организовать управление экспериментальным внедрением одновременно нескольких нововведений, оценивая изменения их вклада в реализацию целей во времени и с учетом динамики внедрения НВВ, хода развития проекта, при этом требуют от эксперта дать оценку степени целесообразности не на текущий момент, а прогнозную оценку p_{jk}' (что он может сделать более объективно);
- позволяют поставить в соответствие оценке p_j некоторые привычные для управленческих работников показатели (в форме J_{jt}) и оценить с их помощью долю управляемого эффекта;
- позволяют уточнять оценки H_i на основе учета взаимного влияния оцениваемых компонент.

В то же время получить информационные оценки сложнее, чем ставшие более привычными оценки относительной значимости, используемыми в методике ПАТТЕРН и в моделях решающих матриц. И это нужно учитывать при выборе методов организации сложных экспертиз в конкретных условиях.

Кроме того, метод решающих матриц был предложен раньше, чем модели, основанные на информационном подходе, и идея многоуровневых моделей с использованием информационных оценок базируются на первоначальной идее многоуровневых решающих матриц.

6.5. Примеры моделей организации сложных экспертиз

Модель организации сложной экспертизы для формирования портфеля заказов в НПО¹

При постановке задачи выбора проектов для заключения договоров и при разработке технического задания необходимо иметь возможность оценивать варианты проектов, как с точки зрения их технических характеристик, так и экономической эффективности, т.е. возможности реализации с наименьшими затратами, использования результатов выполнения почти каждого проекта. Поэтому задача выбора проектов поставлена с учетом не только требований заказчиков, но и возможностей научно-производственного объединения, максимального использования результатов НИОКР, проводимых ранее.

Эту задачу можно рассматривать как задачу формирования портфеля заказов НПО с учетом потребностей заказчика и максимизации дохода на основе использования компонент $K = \{k_{ic}\}$, на разработке которых ранее специализировалось НПО.

В формализованном виде основную идею постановки задачи можно представить следующим образом:

$$F = \sum_{j=1}^n (q_j - \sum_{i=1}^m b_{ij} x_{ij}) \Rightarrow \max,$$

$$x_{ij} = \begin{cases} \text{при } i \in K, \\ 1 \text{ при } i \notin K; \end{cases} \quad (6.17)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij} x_{ij} \leq B, \quad i = 2, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m,$$

$$0 < j \leq K; q_j > 0; b_{ij} > 0,$$

где q_j — ожидаемая прибыль в случае успешной реализации проекта; b_{ij} — затраты на реализацию i -й компоненты j -го проекта; n —

¹ Метод разработан аспиранткой *Н. С. Ветровой* (Сотник) в 2002 г.

число анализируемых проектов; m — число компонент, входящих в проекты; B — общие допустимые затраты; K — компоненты проектов, на разработке которых ранее специализировалось НПО.

Решение задачи в такой постановке строго формальными методами затруднено. Кроме того, даже и в этой постановке не удалось учесть тот факт, что результаты НИОКР или готовые проекты отдельных компонент могут в различной степени использоваться в предлагаемом проекте. Учет вероятности использования готовых компонент или результатов НИОКР в целевой функции в принципе возможен:

$$F = [\sum_{j=1}^n (q_j - \sum_{i=1}^m p_j(x_j) b_{ij} x_{ij})] \Rightarrow \max.$$

Такая постановка еще в большей мере усложняет решение задачи формальными методами. И, кроме того, степень возможности использования «заделов», следует согласовывать с заказчиком, чего не может обеспечить модель математического программирования.

В то же время недостаточно для решения рассматриваемой задачи формирования портфеля заказов применять традиционно используемые для таких задач экспертные методы, поскольку даже в случае применения нескольких критериев с весовыми коэффициентами, трудно гарантировать достоверность экспертной оценки сложных технических комплексов. Желательно получить такую модель или совокупность моделей, которые позволят обеспечить возможность участия в проведении экспертизы не только лиц, принимающих решение о формировании портфеля заказов, но и подразделений-исполнителей, и заказчиков.

Поэтому для решения задачи следует использовать идеи методов организации сложных экспертиз, которые позволяют расчленив большую начальную неопределенность на более обозримые, лучше поддающиеся оценке экспертов, и обеспечивают возможность выделения сфер компетентности для специалистов, заказчиков и исполнителей, привлекаемых к проведению экспертизы. Для проведения исследований разработана модель организации сложной экспертизы, базирующаяся на информационном подходе.

При решении рассматриваемой задачи необходимо оценивать варианты проектов как с точки зрения технических характерис-

тик, так и экономической эффективности, т.е. возможности реализации проекта с наименьшими затратами. Часть характеристик можно оценить количественно, но ряд критериев не поддается количественной оценке. Кроме того, количественные критерии оценки, как правило, разнородны, и возникает проблема сопоставимости критериев или получения обобщенной оценки. В результате возникает необходимость создания моделей для организации сложной экспертизы проектов с учетом обобщения качественных и количественных оценок.

На рис. 6.13 приведена иллюстрация принципов оценки проектов: показаны возможные варианты использования компонент, на разработке которых специализировалось НПО, при реализации проектов.

Основу подхода к оценке комплексной эффективности составляет получение соотношения «результаты/затраты» с использованием информационных оценок.

При оценке результатов (полезности выбора проекта для НПО) по качественным критериям определяется степень p'_i влияния i -й компоненты проекта (или их совокупности) на его реализацию, которые в соответствии с информационным подходом для удобства дальнейшей обработки преобразуются в оценку потенциала H_{ri} соответствующей компоненты проекта: $H_{ri} = -q_i \log(1 - p'_i)$, где p'_i — степень влияния i -й компоненты проекта на достижение целей (требований) заказчика; q_i — вероятность выбора этой компоненты для проекта.

В суммарную оценку результатов $\sum H_{ri}$ включаются: оценки вариантов проекта, полученные на основе степени влияния компонентов на реализацию проекта (качественные критерии), и оценки компонентов, влияющих на его технические характеристики, приведенные к информационным посредством вычисления относительных оценок p_{ri} , а также степень влияния готовых компонент (накопленного опыта проектирования соответствующей компоненты) на реализацию проекта.

Для оценки затрат H_{zi} наряду со стоимостными единицами измерения могут использоваться натуральные (например, трудоемкость разработки той или иной компоненты проекта, материальные затраты и т.п.). При вычислении суммарной оценки затрат на проект учитывается снижение затрат за счет использования готовых компонент (или

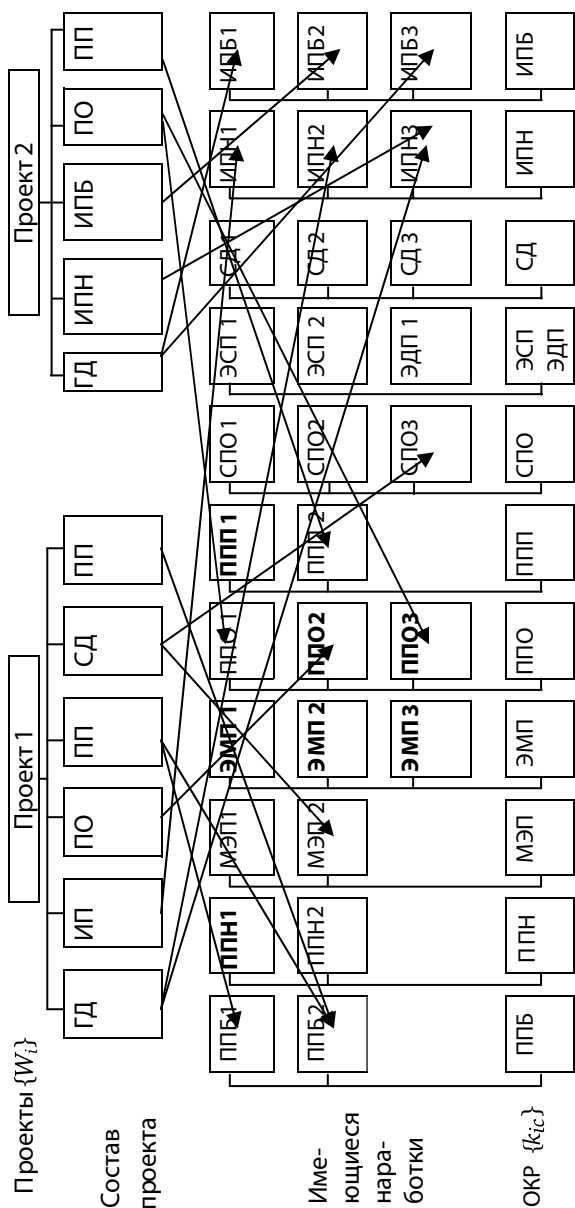


Рис. 6.13

ИП — измерительный прибор; ПП — приемопередатчик; ГД — гребной двигатель; ИПН — измерительный прибор наземный; ИПБ — измерительный прибор бортовой; К — конденсатор; МЭП — магнито-электрический ИП; ПО — программное обеспечение; ППБ — приемопередатчик бортовой; ППН — приемопередатчик наземный; ППО — прикладное ПО; ППП — пакет прикладных программ; СПО — системное ПО; СД — сенсорные датчики; ЭМП — электромеханические приборы; ЭСП — электростатические приборы; ЭДП — электродинамические приборы

опыта их разработки). Эти оценки (как стоимостные, так и выраженные в натуральных единицах) затем переводятся в относительные p_{zi} , на основе которых определяются H_{zi} , сопоставимые с суммарными оценками результатов $\sum H_{ri}$.

Таким образом, эффективность каждого варианта проекта СТИ или комплекса изделий равна $\Theta_{vi} = \sum H_{ri} / \sum H_{zi}$.

При проведении оценки проектов можно учесть количество вариантов компонент, входящих в разрабатываемые проекты, что отражается в оценках введением J_i . Тогда эффективность $\Theta_i = C_{ri} / C_{zi}$, где $C_{ri} = \sum J_i H_{ri}$ — обобщенная оценка результатов от внедрения компонент i -й группы; $C_{zi} = \sum J_i H_{zi}$ — оценка затрат на их внедрение.

Для более тщательной экспертизы можно проводить сравнительный анализ с учетом процесса внедрения проектов на начальном этапе их разработки и взаимного влияния проектов в ходе их выполнения.

Модель организации сложной экспертизы для управления проектами сложных технических комплексов¹

При проектировании сложных технических комплексов, таких, например, как информационно-управляющие системы (ИУС), гибкие производственные системы (ГПС), корпоративные информационные системы и др., возникают проблемы выбора их конфигурации и комплектации с учетом конкретных условий применения, определения очередности проектирования их компонентов. При разработке и реализации проекта возникают проблемы сравнительного анализа вариантов проекта, корректировки выбранного в процессе его реализации.

Эти проблемы связаны с необходимостью оценки эффективности вариантов реализации ИУС и других сложных технических комплексов (СТК). При этом желательно предусмотреть возможность оценки не только на этапе разработки технического задания, но и в процессе технического проектирования.

Прежде всего при заключении договора на проектирование и при разработке технического задания необходимо предоставить заказчику и разработчику оценивать варианты проекта как с точки зрения его технических характеристик, так и экономической эффективности, т.е. возможности реализации

¹ Модель разработана аспиранткой *С. В. Широковой* в 1996 г.

с наименьшими затратами. При этом часть характеристик СТК можно оценить количественно, но ряд критериев не поддается количественной оценке, т.е. требует качественной экспертной оценки. Кроме того, количественные критерии оценки, как правило, разнородны, и возникает проблема сопоставимости критериев или получения обобщенной оценки.

В результате возникает необходимость создания системы организации сложной экспертизы проектов технических комплексов, основанной на использовании *методов структуризации*, позволяющих расчленив большую начальную неопределенность на более обозримые части, и *информационного подхода*, который позволяет получать оценки степени влияния проекта или его компонент на реализацию требований заказчика и приводить разнородные критерии (количественные и качественные) к единым информационным единицам, что помогает их сопоставлять или получать обобщенные оценки для сравнительного анализа.

На рис. 6.14 приведен пример, иллюстрирующий организацию оценки вариантов ИУС с учетом требований заказчика (верхняя часть рисунка) и возможностей научно-производственного объединения, разрабатывающего ИУС; показаны возможные варианты их реализации из компонент, на разработке которых специализировалось НПО (нижняя часть рисунка), и направления влияния различных конфигураций ИУС на выполнение требований заказчика.

Для оценки можно использовать такие приведенные в верхней части рис. 6.14 количественные критерии: погрешность средств измерений (ИП), вес блока (ВБ), габариты (ГБ), трудоемкость разработки (Тр), стоимость (Ст) и т.п. Но важными являются качественные характеристики, которые могут быть оценены количественно лишь частично (в том числе путем стендовых испытаний), такие как надежность в изменяющихся условиях (НУ), стабильность характеристик при перегрузках (СП) и т.п. Немаловажные критерии для производителя при выборе заказа — возможность реализации (ВР) на данный момент, конструктивная однородность компонент изделий (КОИ) и др.

При оценке по качественным критериям определяется степень r'_i влияния i -го варианта проекта или вхождения i -й компоненты СТК (или их совокупности) на реализацию ИУС, которые в соответствии с информационным подходом для удобства дальнейшей обработки преобразуются согласно (6.5) в оценку потен-

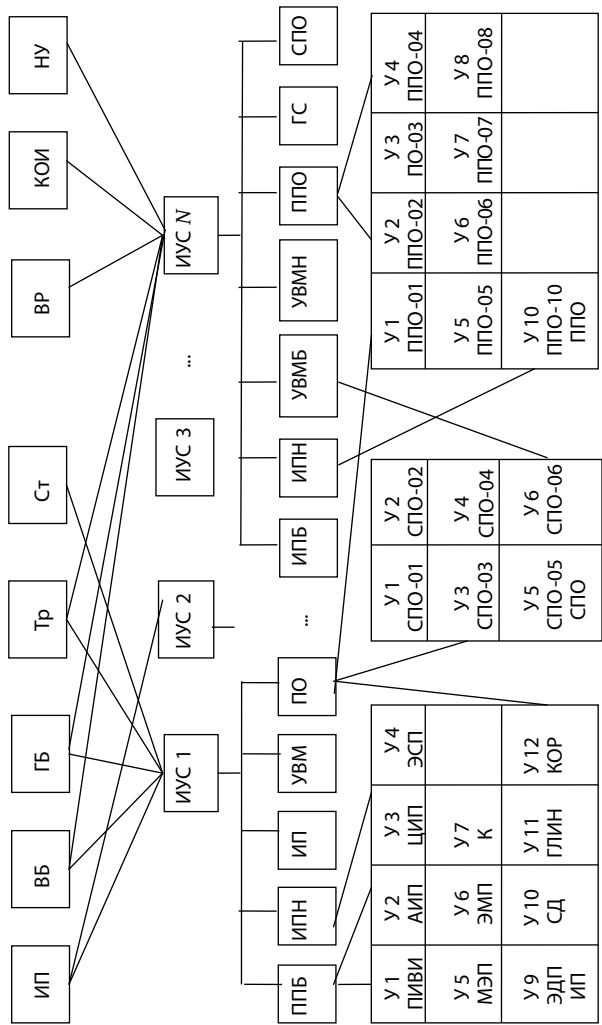


Рис. 6.14

Приняты следующие обозначения: АИП — аналоговый измерительный прибор; ГС — графическая станция; Д — датчики; ИП — измерительный прибор; ИПН — измерительный прибор наземный; ИПБ — измерительный прибор бортовой; ИЭС — информационно-управляющая система; К — компенсаторы; КОР — корректоры; МЭП — магнитоэлектрический ИП; ПИВИ — прибор для измерения временных интервалов; ПО — программное обеспечение; ППБ — приемо-передатчик бортовой; ППН — приемо-передатчик наземный; ППО — прикладное ПО; ППП — пакет прикладных программ; СПО — системное ПО; СД — сенсорные датчики; УВМ — управляющая вычислительная машина; ЦИП — цифровой измерительный прибор; ЭМП — электромеханические приборы; ЭСП — электростатические приборы; ЭДП — электродинамические приборы

циала соответствующего варианта проекта или соответствующей компоненты СТК: $H_{ri} = -q_i \log(1 - p'_i)$, где p'_i – степень влияния i -го варианта ИУС на достижение целей (требований) заказчика; q_i — вероятность выбора этого варианта.

В суммарную оценку результатов $\sum H_{ri}$ включаются как оценки варианта ИУС, полученные путем оценки степени влияния на реализацию качественных критериев, так и их технические характеристики, приведенные к информационным посредством вычисления относительных оценок p_{ri} .

Для оценки затрат могут наряду со стоимостными использоваться натуральные единицы измерения (например, трудоемкость разработки той или иной компоненты СТК, требуемые материальные затраты и др.), которые затем переводятся в относительные p_{zi} и H_{zi} , сопоставимые с оценками результатов $\sum H_{ri}$.

Таким образом, эффективность каждого варианта проекта СТК может быть выражена следующим образом: $\Theta_{bi} = \sum H_{ri} / \sum H_{zi}$.

Для более полной оценки результатов и затрат можно учесть количество вариантов разрабатываемых СТК, число опросов экспертов, число модификаций технических и программных средств СТК, объединенных в оцениваемую группу средств, и др., что отражается в оценках введением J_i , и обобщенная оценка результатов от внедрения i -й группы средств $C_{ri} = \sum J_i H_{ri}$, а оценка затрат на их внедрение $C_{zi} = \sum J_i H_{zi}$. Тогда эффективность каждой группы программных и технических средств в структуре СТК будет $\Theta_i = C_{ri} / C_{zi}$.

Оценки H_{ri} могут уточняться с учетом оценок степени влияния k -го отдельного средства, входящего в состав группы компонент СТК. Пример алгоритма для определения эффективности с применением рассматриваемого подхода приведен на рис. 6.15.

В принципе можно применять при оценке влияния ТК или его компонентов на реализацию целей метод решающих матриц или оценки относительной важности, рекомендуемые в методике ПАТТЕРН. Однако рассмотренный алгоритм вычисления H_i на основе оценок p_i обеспечивает предлагаемому подходу некоторые преимущества по сравнению с методом решающих матриц и процедурами методики ПАТТЕРН: упрощается получение обобщенных оценок влияния ТК или их компонентов на реализацию подцелей, так как H_i , измеряемые в битах, можно просто суммировать (а при обработке вероятностных оценок в других методах приходится применять более сложные процедуры); можно учесть не только p'_i , но и q_i .

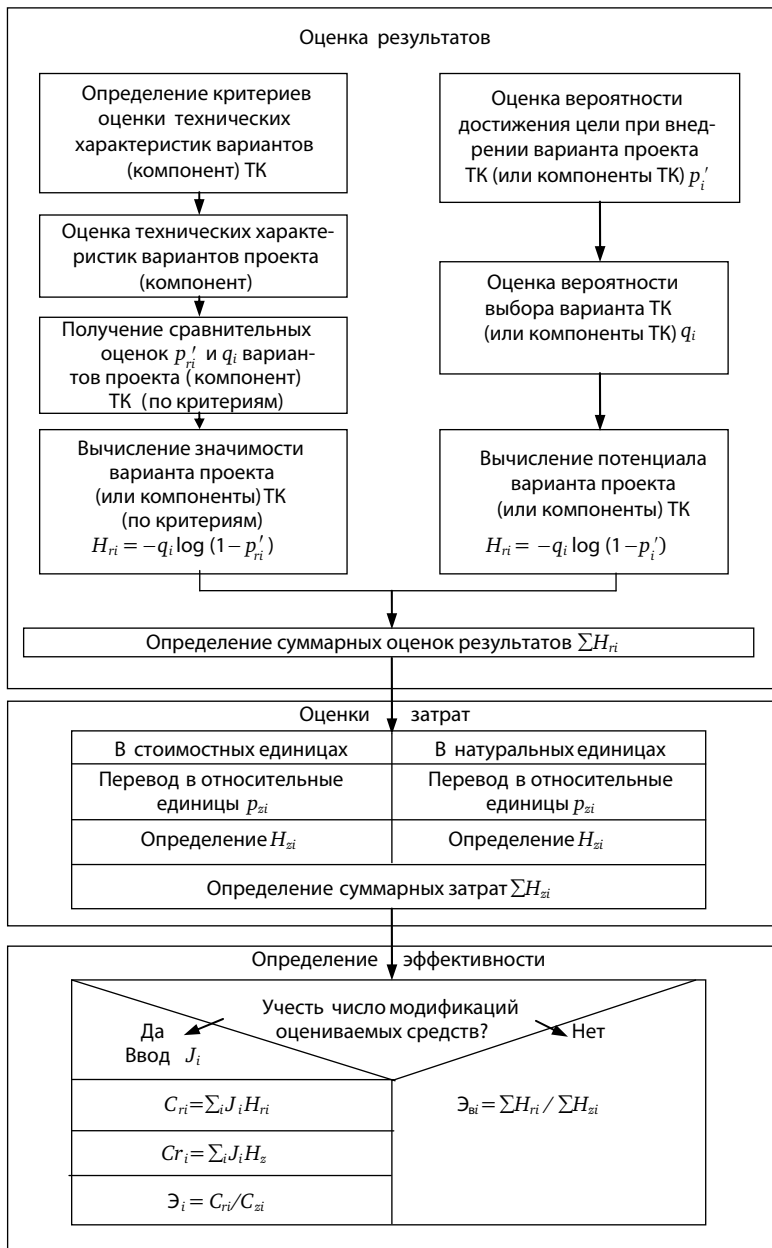


Рис. 6.15

Кроме того, при управлении разработкой и реализацией проектов, которые могут предусматривать внедрение значительного числа однородных компонент (например, станков с ЧПУ, их программных средств, однородных ГАЛ в нескольких цехах и т.п.) с помощью рассматриваемого подхода можно проводить оценки с учетом процесса внедрения ТК, рассматривая их разработку и внедрение как нововведений.

Для этого используется два способа измерения H_i — через вероятность p_i' (6.5) и посредством характеристик воспринимаемой информации: а) в статике в какой-то момент проектирования СТК в соответствии с (6.7) $H_i = J_i/n_i$, где $J = A_i/\Delta A_i$; б) с учетом процесса внедрения НВВ и его динамики в соответствии с (6.7а) $H_i = J_i/n_i + \tau_i dJ_i/dt + L_i d^2J_i/dt^2$.

Применительно к данному приложению при вычислении $J = A_i/\Delta A_i$ A_i может интерпретироваться как значения критериев, приведенных в верхней части рис. 6.15. Например, для количественных критериев — погрешность средств измерений (ИП), вес блока (ВБ), габариты (ГБ), трудоемкость разработки (Тр), стоимость (Ст) и др.; для качественных — характеристики, которые могут быть оценены количественно лишь частично, в том числе путем стендовых испытаний, такие, как надежность в изменяющихся условиях (НУ), стабильность характеристик при перегрузках (СП) и др., возможность реализации (ВР) на данный момент, конструктивная однородность компонент изделий (КОИ) и т.д.

Значения критериев (в том числе и некоторых количественных) могут изменяться в процессе первого этапа выбора конфигурации изделия, комплектаций и т.п., появления новой информации в процессе стендовых испытаний и т.д.

Эти изменения отражаются с помощью параметров информационной модели: n_i — объем влияния i -го критерия на оценку потенциала H_i при выбранном ΔA_i (т.е. вклад данного критерия в реализацию требований заказчика); n_i вычисляется следующим образом: на основе экспертной оценки степени влияния p_i i -го критерия на реализацию требований заказчика определяется H_i и при известном J_i можно вычислить $n_i = J_i/H_i$; dJ_i/dt — скорость измерения значения критерия в процессе корректировки i -го варианта проекта; τ_i — минимальное время изменения критерия (с учетом выбранного ΔA_i); d^2J_i/dt^2 — ускорение, приращение скорости изменения критерия; L_i — ригидность системы, сопротивляемость изменениям, показывающая стабильность значения критерия, что в ряде случаев является важной характеристикой изделия.

Использование двух способов определения H_i позволяет, оценив прогнозную p'_{ik} на конец предварительного этапа отработки варианта проекта СТК, вычислить H_{ik} и $n_i = J_i/H_i$, а затем по изменению значений критериев определить J_{it} в различные моменты времени и вычислить значения $H_{it} = J_{it}/n_i$ на текущий момент по всем учитываемым критериям, которые затем можно суммировать, получая обобщенные оценки, вычислять относительную значимость вариантов проекта СТК.

В дополнение к рассмотренным оценкам для ранжирования учитываемых критериев можно применить модели, учитывающие взаимное влияние проектов СТК в процессе реализации. Тогда методика их оценки в процессе разработки и реализации будет включать несколько моделей организации сложных экспертиз, разработанных на основе информационных оценок.

Отметим, что в вероятностной оценке p'_i отражается только контролируемый эффект, который можно учесть с помощью критериев и которым можно управлять. При этом, если удастся ориентировочно оценить ожидаемую эффективность от внедрения НВВ в стоимостных единицах (что неизбежно делается при выделении средств для их экспериментального внедрения), то оценки H_{it} помогают распределять средства на отдельные компоненты СТК, принимать решения о перераспределении средств в процессе внедрения СТК с учетом его хода и, соответственно, — о корректировке проекта СТК в целом.

Рассмотренный подход к оценке проектов ТК в процессе их разработки и реализации является основой создания автоматизированного рабочего места для управления проектированием сложных технических комплексов.

Комплекс моделей организации сложных экспертиз для управления кадровыми ресурсами проектно-конструкторских подразделений предприятий или проектных коллективов¹

В общем виде задача определения требуемого состава кадров проектно-конструкторских подразделений предприятия или проектного коллектива может быть поставлена следующим образом.

Состав характеристик кадровых ресурсов подразделения (S_d) представляется в виде совокупности множеств.

¹ Раздел подготовлен аспиранткой *А. В. Логиновой* в 2007 г.

$$S_d \equiv \langle W(A), F(B), R(C) \rangle, \quad (6.18)$$

где W — множество сотрудников подразделения (участников проекта) ($W = \{w_i\}, i = \overline{1, n}$); A — множество свойств сотрудников ($A = \{a_{i, ch}\}, i = \overline{1, n}, ch = \overline{1, n_{ch}}$, где n_{ch} — количество свойств, подлежащих оценке); F — множество функций подразделения (задач, видов деятельности по проекту) ($F = \{f_j\}, j = \overline{1, m}$); B — множество свойств функций ($B = \{b_{js}\}, j = \overline{1, m}, s = \overline{1, m_s}$, где m_s — количество функций); R — множество, элементы которого характеризуют взаимосвязи между элементами множеств W и F ($R = \{r_{ij}\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$); C — множество свойств связей между элементами ($C = \{c_{ijl}\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, l = \overline{1, m_l}$, где m_l — количество связей разнородного характера, подлежащих оценке).

Требуется определить множество сотрудников $\{w_i\}$, необходимое для выполнения множества функций $\{f_j\}$. При постановке и решении задачи желательно учитывать: 1) характер отношений между множеством сотрудников и множеством функций (в некоторых моделях используется соотношение один сотрудник — одна функция, но на практике более распространены случаи, когда, в зависимости от уровня профессиональной подготовки, каждый сотрудник может выполнять несколько функций, и каждую функцию может выполнять несколько сотрудников); 2) содержание функций, определяющее, может ли выполнение одной функции быть распределено между разными сотрудниками; 3) дополнительные ограничения модели, связанные с затратами труда работников на выполнение функций и размером фонда оплаты труда; 4) взаимоотношения между сотрудниками и их личностные качества.

Для решения задачи разработан комплекс моделей.

Модели оценки загруженности кадровых ресурсов подразделения предприятия, основанной на принципе управления по отклонениям. Эффективность функционирования любого предприятия определяется соотношением результатов и затрат на их достижение. Основным результатом деятельности организационного подразделения является выполнение всех возложенных на него функций при соблюдении заданных бюджетных ограничений. При этом желательно, чтобы работники были загружены равномерно.

Руководителю подразделения необходимо постоянно оценивать состав работников и так распределять работы между ними, чтобы

они были им по силам, но при этом работники любой квалификации должны быть включены в работу подразделения. При перспективном планировании может создаться ситуация, когда окажется необходимым подбор или переквалификация кадровых ресурсов в соответствии с новыми функциями или же, напротив, высвобождение кадров, перевод их в другие подразделения, если число функций данного подразделения и их трудоемкость изменятся.

Для решения этой задачи можно применить модель оценки загруженности кадровых ресурсов, основанной на принципе управления по отклонениям. Принцип управления по отклонениям реализуется в модели путем постановки задачи анализа недогрузки и перегрузки работников подразделения. В качестве наиболее значимой характеристики исполнителей в модели выбираются затраты времени сотрудников на выполнение функций подразделения, к которому они относятся:

$$\sum_{i=1}^n \left| \Psi_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} \varphi_j x_{ij} \right| \rightarrow \min, \quad (6.19)$$

где Ψ_i — эффективный фонд рабочего времени i -го исполнителя в плановом периоде, ч; x_{ij} — искомые величины, показывающие выполняет ли i -й исполнитель j -ю функцию; a_{ij} — трудозатраты, связанные с выполнением i -м исполнителем работ по j -й функции, ч; φ_j — частота выполнения j -й функции в плановом периоде.

Особенность модели заключается в интерпретации критерия оптимальности. Нелинейный критерий (2) предлагается заменить ограничением (3) и критерием оптимальности (4).

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \varphi_j x_{ij} + \Delta_i^- - \Delta_i^+ = F_i, \quad (6.20)$$

$$\Delta_i^- \geq 0, \quad \Delta_i^+ \geq 0, \quad i = \overline{1, n};$$

$$\sum_{i=1}^n (\Delta_i^- + \Delta_i^+) \rightarrow \min, \quad (6.21)$$

где Δ_i^- , Δ_i^+ — отклонения от эффективного фонда времени (Ψ_i) соответственно в отрицательную и положительную стороны.

Тогда знак выражения $\Delta_i^- - \Delta_i^+ (i = \overline{1, n})$ характеризует загруженность i -го исполнителя в плановом периоде: если $\Delta_i^- > 0$, $\Delta_i^+ = 0$, то имеет место недоиспользование фонда времени; если $\Delta_i^- = 0$, $\Delta_i^+ > 0$ — перерасход времени.

Такая постановка задачи позволяет руководителю обосновывать распределение функций между сотрудниками с учетом требования достаточно полного использования фонда времени. Можно решить эту задачу с помощью алгоритма, обеспечивающего подбор вариантов распределения исполнителей при известном общем эффективном фонде времени подразделения и квалификации сотрудников, отраженной в затратах труда, необходимых им для выполнения заданных функций.

В условиях действующего предприятия возникает потребность в решении задач большой размерности. Поэтому разработаны модели для оценки сотрудников, позволяющие ранжировать исполнителей по следующим характеристикам: оценка результатов деятельности, данная руководителем, уровень самооценки сотрудников, степень сходства их профессиональных знаний и навыков, психологическая совместимость.

Модели в рассматриваемом комплексе организации сложных экспертиз взаимосвязаны и дополняют друг друга. Каждая последующая модель позволяет учесть больше реальных факторов. При этом в модели могут быть использованы оценки, полученные в предыдущей модели, что показано на рис. 6.16.

Модель сравнительной оценки сотрудников подразделений предприятий и проектных коллективов с учетом взаимозаменяемости исполнителей. Вычислить оценки сравнительной значимости сотрудников с учетом важности выполняемых ими функций можно с помощью модели, основанной на методе решающих матриц *Г. С. Поспелова*.

В проектно-конструкторском подразделении выполняется ряд функций: подготовка обзоров по тематике проекта, обоснование концепции проекта, выбор конфигурации проекта, проектирование блоков, входящих в конфигурацию проекта, разработка конструкторской документации, подготовка отчетов и т.п. Как правило, сотрудники проектно-конструкторских подразделений специализируются на выполнении одной или нескольких из названных функций. В то же время аналогичные функции выполняются для разных проектов. Эти особенности можно отобразить структурой, приведенной на рис. 6.16, а.

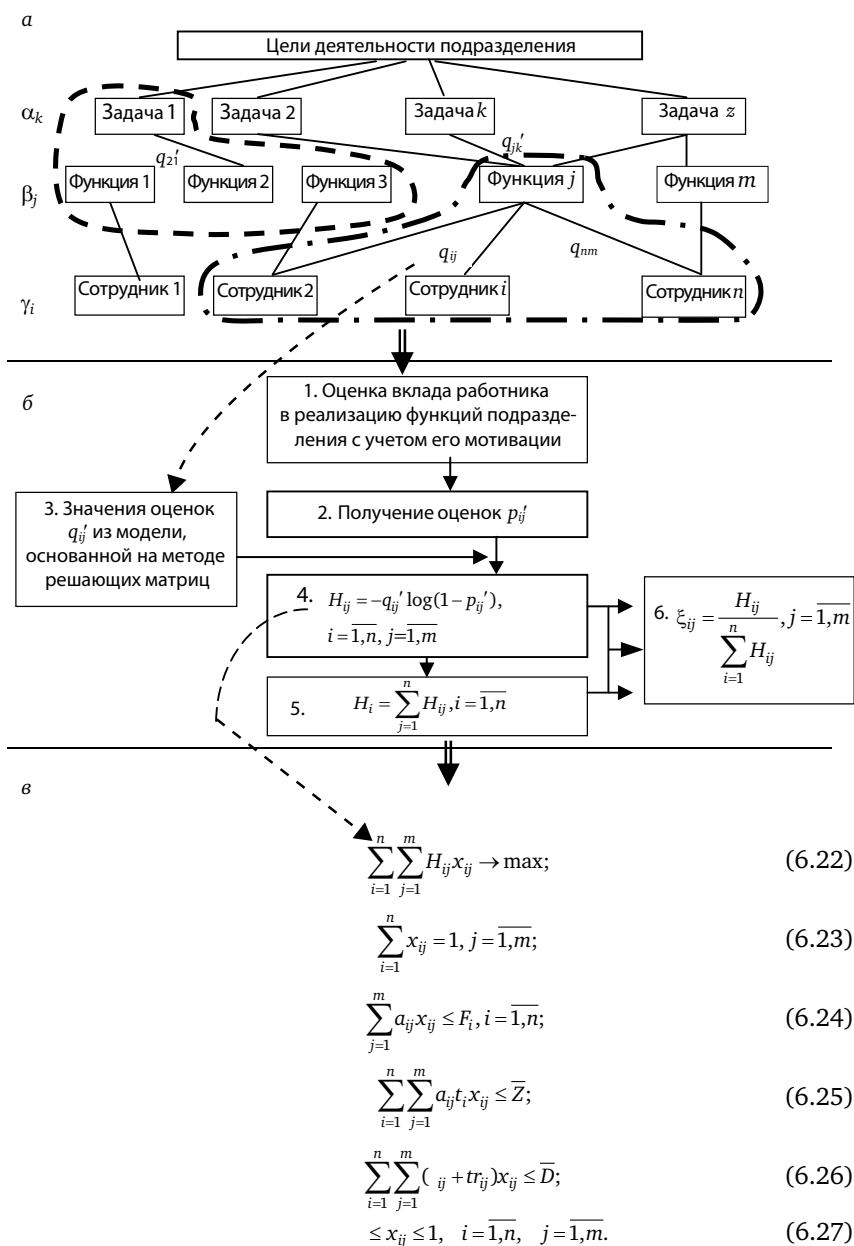


Рис. 6.16

Пример

В модели используются следующие условные обозначения: $\alpha_1, \dots, \alpha_z$ — удельные веса задач, β_1, \dots, β_m — удельные веса функций, $\gamma_1, \dots, \gamma_n$ — сравнительные оценки сотрудников; q'_{jk} — оценка относительной значимости j -й функции для решения k -й задачи; q_{ij} — оценка возможности использования труда i -го сотрудника при выполнении j -й функции (по мнению руководителя).

Заполнению «решающей матрицы» между первым и вторым уровнями модели (матрицы оценок q'_{jk}) предшествует определение групп функций, относящихся к каждой из задач (показано на рис. 6.16, а штриховой и штрихпунктирной линиями соответственно).

Аналогичным образом заполняется «решающая матрица» между вторым и третьим уровнями: вначале определяется потенциальная возможность выполнения i -м сотрудником j -й функции, при этом нулевые оценки q_{ij} получает только группа сотрудников, наилучшим образом подготовленная к выполнению j -й функции.

Оценки важности функций для реализации задач (q'_{jk}) и потенциальной значимости вклада сотрудников в выполнение функций (q_{ij}) получают методом нормирования.

Алгоритм получения и обработки оценок приведен на рис. 6.17.

В результате применения модели определяются оценки относительной значимости сотрудников с точки зрения вклада, который они способны внести в реализацию множества функций организационного подразделения.

Модель позволяет учесть: 1) значимость j -й функции для системы управления предприятием (β_j); 2) относительную значимость сотрудников (γ_i); 3) предпочтения руководителя при выборе сотрудника, которому будет поручена соответствующая функция, при условии взаимозаменяемости сотрудников.

Результаты оценки могут служить основой для принятия решений о необходимости переквалификации сотрудников или перемещении сотрудников внутри предприятия (например, о продвижении сотрудников с высокими показателями относительной значимости).

Однако получаемые таким образом оценки значимости сотрудников отражают только мнение руководителя об уровне их профессиональной подготовки. Объединение в одной оценке самооценки сотрудников и оценки их деятельности руководителем можно реализовать с использованием информационной меры, приведенной в гл. 3.

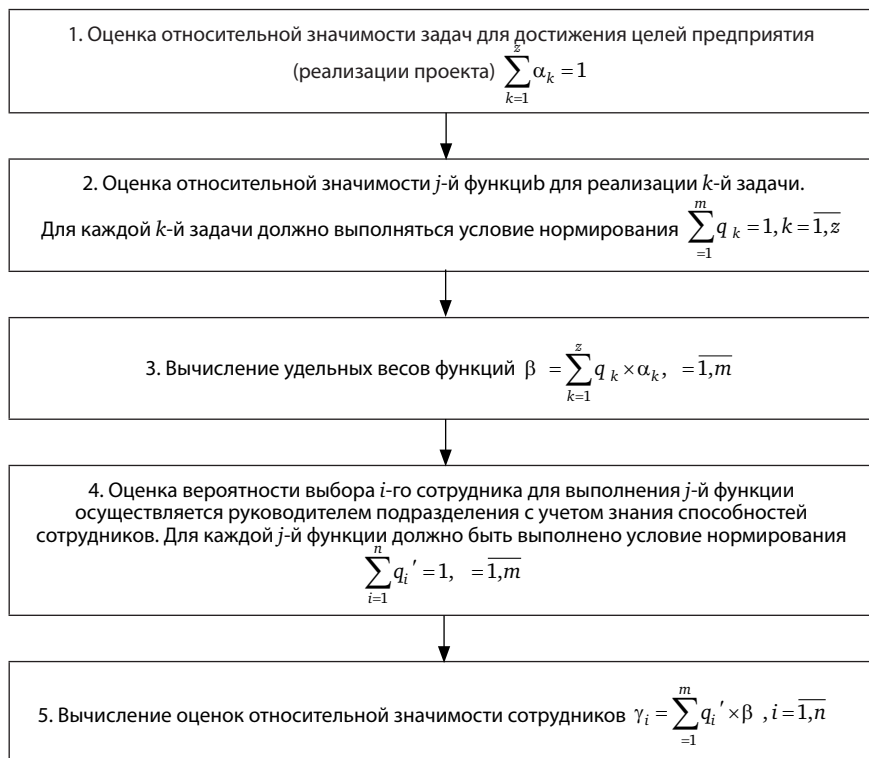


Рис. 6.17

Информационная модель, учитывающая мотивацию сотрудников. С помощью информационной оценки, приведенной в гл. 3, определяется значимость i -го сотрудника организационного подразделения для реализации j -й функции с учетом не только оценки, даваемой руководителем, но и самооценки сотрудника, учитывающей его мотивацию,

$$H_{ij} = -q_{ij} \log(1 - p'_{ij}), \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (6.28)$$

где q_{ij} — оценка возможности использования труда i -го сотрудника при выполнении j -й функции (по мнению руководителя); p'_{ij} — оценка i -м сотрудником собственной готовности к выполнению j -й функции, частично учитывающая его мотивацию.

Алгоритм расчета показателей относительной значимости сотрудников приведен на рис. 6.16, б.

Суммирование оценок H_{ij} по всем функциям, которые способен выполнять i -й сотрудник, позволяет получить обобщенную оценку сотрудника, отражающую его потенциальную способность к выполнению функций подразделения, в котором он работает, и оценку результатов его деятельности со стороны руководителя. Это дает возможность проводить сравнительный анализ оценок сотрудников. При необходимости можно перейти от информационных оценок к относительным показателям ξ_{ij} оценки сотрудников (см. рис. 6.16, б).

Модель текущего распределения работ между исполнителями. На рис. 6.16, в приведена постановка задачи распределения имеющегося числа сотрудников с известной квалификацией между работами, стоящими перед проектным подразделением предприятия в текущем периоде (неделя, месяц, квартал). Модель имеет вид (6.22)—(6.27).

Данная модель основана на модификации классической постановки задачи о назначениях. Новизной является использование оценок деятельности сотрудников, объединяющих в себе оценку руководителя и самооценку и вычисляемых с помощью модифицированной информационной оценки (6.28). С помощью модели определяется доля участия каждого из сотрудников в работе подразделения.

В модели приняты следующие обозначения: x_{ij} — искомый «вклад» i -го сотрудника в выполнение j -й работы (функции); H_{ij} — оценка значимости i -го сотрудника для выполнения j -й работы, учитывающая оценку руководителя и самооценку сотрудника; a_{ij} — время, необходимое i -му сотруднику для выполнения j -й работы единолично, часы; F_i — фонд эффективного рабочего времени i -го сотрудника в плановом периоде, часы; t_i — тарифная ставка i -го сотрудника, руб.; \bar{Z} — максимальный размер фонда оплаты труда подразделения в плановом периоде, руб.; s_{ij} — необходимые затраты на обучение i -го сотрудника, если он назначается на j -ю работу, руб.; tr_{ij} — необходимые затраты на участие i -го работника в психологических тренингах, если он назначается на j -ю работу, руб.; \bar{D} — верхняя граница фонда затрат на обучение и переподготовку сотрудников подразделения в плановом периоде, руб.

Модель дает возможность отобрать для выполнения проекта наиболее квалифицированных сотрудниками с учетом уровня их профессиональной подготовки и мотивации, т.е. обеспечить выполнение проекта наиболее квалифицированными кадрами (свободными в момент принятия решения от выполнения других проектов).

С помощью модели (6.22)—(6.27) можно выполнять распределение функций как для действующего подразделения предприятия, так и для реорганизуемых и новых подразделений.

Модели, базирующиеся на применении метода симплициального комплекса. На результаты совместной деятельности рабочего коллектива оказывают влияние не только индивидуальные способности работников, но и то, насколько успешно они объединены в группы. Для исследования взаимодействия сотрудников организационного подразделения (проектного коллектива) разработаны модели, базирующиеся на применении метода анализа симплициального комплекса. Данный метод позволяет изучить связность структуры.

Согласно данному методу, формируется матрица инцидентий

$$\Lambda = (\lambda_{ij}),$$

$$\text{где} \quad \lambda_{ij} = \begin{cases} 1, (W_i, F_j) \in \lambda, \\ 0, (W_i, F_j) \notin \lambda. \end{cases} \quad (6.29)$$

Матрица Λ отражает отношения между множеством функций $F = (F_1, F_2, \dots, F_j, \dots, F_m)$ и множеством исполнителей $W = (W_1, W_2, \dots, W_i, \dots, W_n)$ и является подмножеством декартова произведения $\lambda = F \times W$. Каждое такое отношение λ порождает симплициальный комплекс, отражающий структуру отношения λ . Для оценки симплициального комплекса в целом предлагается использовать понятие q -связность, введенное *Дж. Касту* (см. параграф 2.5). Проведение Q -анализа симплициального комплекса не дает необходимой информации о том, как каждый отдельный симплекс входит в комплекс, поэтому для определения степени интегрированности отдельных симплексов в структуру всего комплекса вычислялся эксцентриситет (2.22).

Применительно к симплициальному комплексу, отражающему связи между сотрудниками и функциями подразделения, значение эксцентриситета можно трактовать как степень включенности

работников в группы по их профессиональным качествам. По этой оценке можно судить о том, насколько сильно сотрудник связан с другими участниками рабочего коллектива по выполняемым им функциям, т.е. насколько уникальными являются его профессиональные умения и навыки для данного коллектива.

Поскольку уникальность навыков исполнителя является важной характеристикой, можно сравнивать сотрудников друг с другом, используя показатель, обратный эксцентриситету. Алгоритм получения оценок взаимосвязанности сотрудников коллектива представлен на рис. 6.18.



Рис. 6.18

На рис. 6.19 приведено сопоставление оценок относительной значимости сотрудников проектно-конструкторского отдела предприятия, полученных с применением разных методов:

а) с помощью модифицированного метода решающих матриц (рис. 6.19, а);

б) модели, использующей информационные оценки (рис. 6.19, б);

в) модели, основанной на анализе симплициального комплекса (рис. 6.19, в).

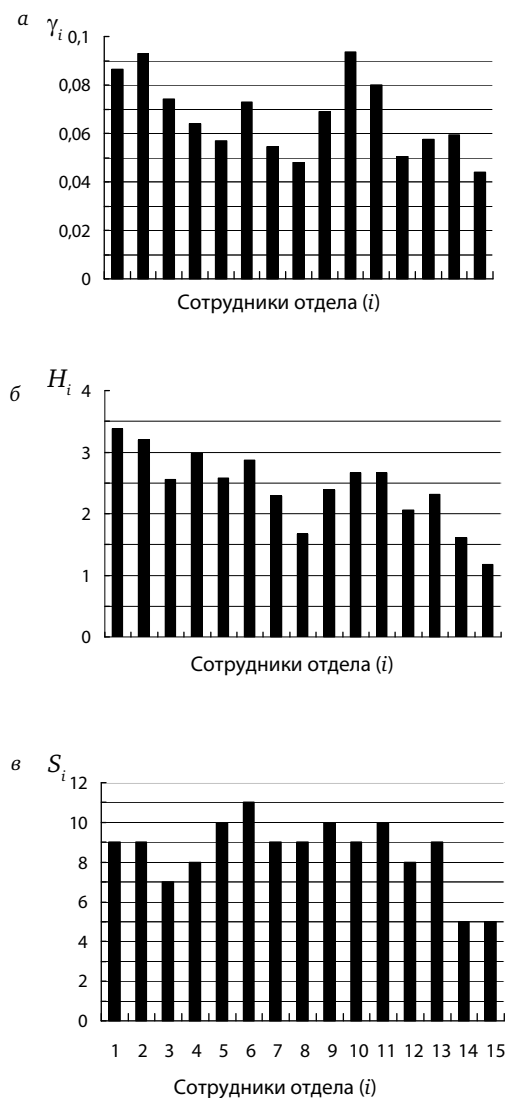


Рис. 6.19

Модифицированный метод решающих матриц позволил получить сравнительные оценки сотрудников, обобщающие мнение руководителей об их профессиональной подготовке ($\gamma_i, i = 1, n$).

Модель, использующая информационные оценки значимости сотрудников, дала возможность объединить оценку работников коллегами и их самооценку в одном показателе ($H_i, i=1, n$).

В результате построения и анализа симплициального комплекса, сформированного на основе информации о готовности сотрудников конструкторского отдела выполнять определенный набор функций подразделения, рассчитывается показатель, характеризующий уникальность профессиональных знаний и навыков сотрудников ($S_i = 1/\text{ecc}_i, i=1, n$).

Представление сравнительных оценок сотрудников в виде гистограмм позволило выделить тех работников отдела, которые получили высокие оценки при расчетах по одной модели и низкие — при расчетах по другой. Сравнительно низкие показатели могут свидетельствовать о невысокой самооценке работников, низкой мотивации труда (см. рис. 6.19, б) или об умении выполнять в основном те профессиональные задачи, с которыми способно справиться большинство сотрудников подразделения (см. рис. 6.19, в).

Сравнительный анализ оценок кадровых ресурсов, полученных с использованием нескольких моделей, позволяет выявить противоречивые оценки. Это помогает руководителям осуществлять выбор организационных мероприятий, направленных на реструктуризацию подразделения с целью повышения эффективности использования кадров, принимать более обоснованные решения о перемещении кадров внутри предприятия, необходимости переквалификации сотрудников.

В зависимости от того, какие качества сотрудников являются приоритетными для данного коллектива, руководитель может решать задачу оценки загруженности кадров не для всего коллектива, а для интересующей его группы сотрудников.

На основе анализа концепций маркетинга, методов стратегического менеджмента и экспертных методов для торговло-посреднической организации выбраны концепции маркетинга (товарная, ориентация на потребителя и социально-ответственная) и определена взаимосвязь концепций и моделей для их реализаций, и методов, на которых базируются модели (рис. 6.20).

**Комплекс моделей
организации сложных
экспертиз для реализации
концепций системы
маркетинга торговло-
посреднических
организаций¹**

¹ Раздел подготовлен аспирантом И. А. Кульковым в 2007 г.



Рис. 6.20

Разработаны модели, позволяющие решать основные задачи, стоящие перед торгово-посредническими организациями:

- для реализации товарной концепции — модели выбора поставщиков, поставляемых товаров;
- концепция, ориентированная на потребителя, — модели выбора вида поставляемых товаров;
- концепция, ориентированная на поставщиков и учет мнения потребителей, — модели анализа факторов и модели доставки товаров.

Для разработки этих моделей использованы методы, приведенные в нижней части рис. 6.20.

Модели для выбора товаров и их поставщиков, базирующиеся на учете разнородных критериев. Для реализации товарной концепции разработаны модели, базирующиеся на оценке относительной важности товаров и их поставщиков методом нормирования с использованием нескольких критериев и учетом их весовых коэффициентов. Для пояснения идеи, положенной в основу модели, приведем матрицу соответствия элементов и критериев, принятых при их оценке в форме таблицы, в которой приняты следующие обозначения: q_x — вес критерия; s_{jx} — относительный вес оцениваемого элемента по соответствующему критерию; r_{ij} — коэффициент относительной важности j -го элемента i -го уровня; a, b, \dots, n — товары (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Критерий	Вес критерия	Элементы уровня			
		A	B	...	N
Цена	q_1	s_{a1}	s_{b1}	...	s_{n1}
Доступность	q_2	s_{a2}	s_{b2}	...	s_{n2}
Качество	q_3	s_{a3}	s_{b3}	...	s_{n3}
Уровень обслуживания	q_4	s_{a4}	s_{b4}	...	s_{n4}
Поддержка	q_5	s_{a5}	s_{b5}	...	s_{n5}
Известность	q_6	s_{a6}	s_{b6}	...	s_{n6}
		r_{ia}	r_{ib}	...	r_{in}

При заполнении таблицы предусмотрена проверка выполнения двух нормализующих логических условий для достижения однородности результатов: нормирование весовых коэффициентов критериев и оценок относительной важности элементов по каждому критерию $\sum_{x=1}^m q_x = 1$ и $\sum_{j=1}^n s_{jx} = 1$. Затем вычисляются оценки с учетом весовых коэффициентов критериев $j = \sum_{j=1}^m q_x s_{jx}$ и проверяется выполнение условия нормирования $\sum_{j=1}^m j = 1$.

Алгоритм реализации модели приведен на рис. 6.21.

В реальных условиях процедура оценки организуется, как правило, в форме двух-трех туров, т.е. используется Дельфи-процедура. После проведения каждого тура эксперты знакомятся с результатами оценок коллег. Тем экспертам, мнения которых существенно отличаются от других, может быть предоставлена возможность обоснования своей точки зрения. Такая процедура может повы-

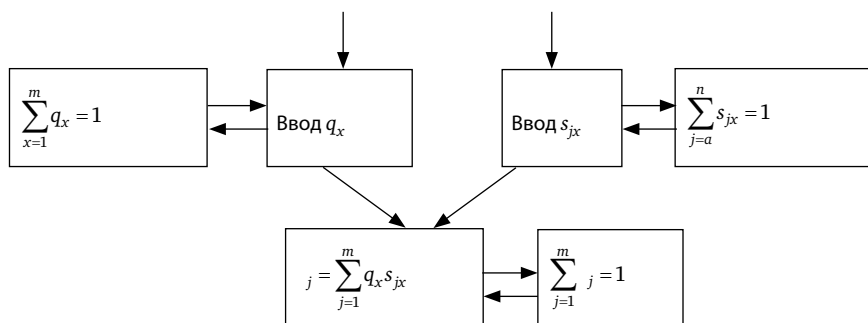


Рис. 6.21

ситель объективность оценок, побудить некоторых экспертов пересмотреть свои оценки.

Методы организации сложных экспертиз на основе информационного подхода для реализации концепции маркетинга, ориентированной на потребителя. Предприятие должно постоянно следить за основными компонентами окружающей системы и делать выводы относительно своих потребителей товаров.

Успешная реализация стратегии в организации всегда характеризуется применением ряда подходов, часто в самых различных сочетаниях. Однако успешное осуществление характеризуется двумя особенностями: менеджеры используют эти подходы с учетом их достоинств и недостатков и оценивают ситуацию, ориентируясь на достижение целей организации и знания принципов организации.

При внедрении нового товара возникает задача определения приоритетности и очередности внедрения. При решении задачи следует учитывать особенности НТ и условия их внедрения.

Как правило, НТ вступают в противоречие со стремлением получить как можно больший доход в короткие сроки. Следует также иметь в виду, что одновременно могут внедряться несколько НТ.

Российские предприятия, и особенно предприятия-посредники, вынуждены постоянно противостоять коренным изменениям, происходящим в отечественной экономике. Неопределенность среды, связанная с переходом на рыночные механизмы хозяйствования и с открытостью рынков в мировую экономику, заставляет предприятия под угрозой разорения становиться более гибкими и как можно быстрее приспосабливаться к изменениям окружающей среды.

При выборе НТ необходимо учитывать разнородные внешние и собственные факторы, в условиях которых функционирует и развивается конкретное производство.

Для решения задачи сравнительного анализа НТ предполагается применить информационный подход к анализу системы, изложенный в гл. 3. В соответствии с этим подходом оценивается целесоответствие НТ.

При применении информационных моделей этого вида, основанных на оценке *степени влияния* нового товара на реализацию целей предприятия (организации) в анализируемый период развития, в соответствии с теоретическими основами *информацион-*

ного подхода, для оценки каждого нового товара вводятся оценки степени целесообразности, т.е. вероятности достижения цели p_i' и вероятности его использования q_i , и вычисляется потенциал (значимость) H_i НТ

$$H_i = -q_i \log(1 - p_i'),$$

где p_i' — вероятность достижения цели при выборе НТ; q_i — вероятность приобретения потребителями НТ. Данные вероятности вводятся экспертами и могут меняться в ходе внедрения НТ.

Здесь привычная шенноновская вероятность *недостижения* цели (энтропия) p_i заменяется на сопряженную $(1 - p_i')$, где p_i' — вероятность достижение цели. Кроме того, учитывается вероятность приобретения НТ потребителем — q_i .

В отличие от традиционно применявшихся моделей оценки степени влияния компоненты на реализацию целей потребителей, для получения более объективных оценок предлагаемая модель учитывает степени влияния НТ по ряду критериев (рис. 6.22), по которым могут быть привлечены эксперты соответствующей квалификации.

Совокупное влияние НТ согласно (3.23) определяется следующим образом:

$$H = -\sum_{i=1}^n q_i \log(1 - p_i').$$

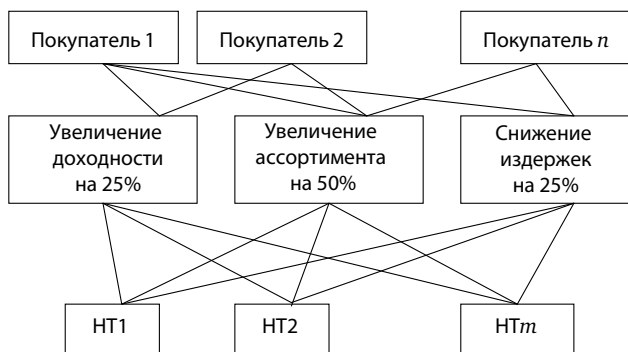


Рис. 6.22

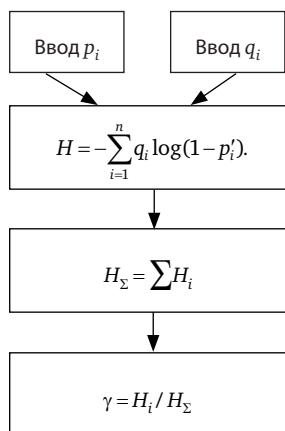


Рис. 6.23

Алгоритм работы с моделью представлен на рис. 6.23.

Вычисление H_i на основе оценок p_i' и q_i обеспечивает предлагаемому подходу преимущества по сравнению с экспертными оценками, основанными на нормировании, ранжировании или иных методах упорядочения, при использовании которых нужно сопоставлять различные НТ:

- упрощается получение обобщенных оценок влияния комплексов НТ, так как H_i , измеряемые в битах, можно просто суммировать;

- появляется возможность оценивать не только степень (вероятность) p_i влияния i -го НТ на реализацию целей, но и возможность учесть вероятность q_i выбора потребителем этого НТ в конкретных условиях в текущий период, что может быть оценено и на основе статистических исследований.

При применении информационного подхода обеспечивается возможность управления ходом внедрения НТ, т.е. существует возможность перераспределения средств в процессе внедрения с учетом хода внедрения. Перераспределение средств происходит путем отказа от закупки намеченных комплектов оборудования, внесения в них изменений или полного отказа от закупки данного вида НТ в пользу другого проекта.

В то же время рассмотренный способ использования информационных оценок еще не решает всех проблем сравнительной оценки новых товаров в процессе их внедрения, и, кроме того, остается необходимость получения экспертных оценок p_i на текущий момент, что всегда вызывает затруднения у экспертов, им легче давать прогнозные оценки степени влияния новых товаров на некоторую перспективу.

В сравнительном анализе инноваций часто требуется прогнозировать технико-экономические и финансовые показатели проекта на достаточно продолжительный период. При этом необходимо учитывать неопределенность и вытекающий из этого риск инвестирования. Под неопределенностью в этом случае понимается неполнота и неточность информации об условиях реализа-

ции мероприятий и соответствующих этим условиям результатам, затратах и экономическом эффекте. Риск заключается в возможном уменьшении фактической отдачи от капиталовложений по сравнению с ожидаемой. Источниками рисков могут выступать внутренние и внешние причины. К внутренним относятся причины, вызванные несогласованностью проекта со стратегическими установками, несоответствием идеи возможностям ее реализации, недостатком практического опыта. Внешние причины обусловлены изменением рыночной конъюнктуры, экономической и политической ситуации и другими причинами, на которые компания не имеет возможности целенаправленно воздействовать (налоговая система, финансово-кредитная политика, темпы инфляции, условия инвестирования).

Задача анализа рисков состоит в выявлении совокупности факторов, которые могут существенно повлиять на реализацию инновационного проекта, и в принятии мер по защите от влияния негативных факторов. Для ИТ-проектов это, чаще всего, следующие риски: 1) превышение планируемых сроков внедрения; 2) несоответствие заданной функциональности; 3) превышение бюджета.

Для преодоления этих проблем применения целесообразно сочетать предлагаемый метод с модифицированными моделями решающих матриц, на основе которых рассчитывается место посреднической организации на рынке, отношения с поставщиками и потребителями. Метод применим и к областям, связанным с кредитованием бизнеса для введения новых товаров, получения средств на развитие бизнеса.

Модель анализа факторов, влияющих на конкурентные преимущества предприятий-производителей, основанная на применении метода решающих матриц. Поставки оборудования для автоматизированных систем организованы с помощью фирм-поставщиков, конкурирующих между собой. Для анализа факторов, влияющих на конкурентоспособность исследуемой фирмы, предлагается модель, основанная на использовании метода решающих матриц (рис. 6.24). Предлагаемый метод отличается от классического варианта Поспелова тем, что уровни не являются однородными, а есть возможность, минуя один уровень, перейти к более нижнему.

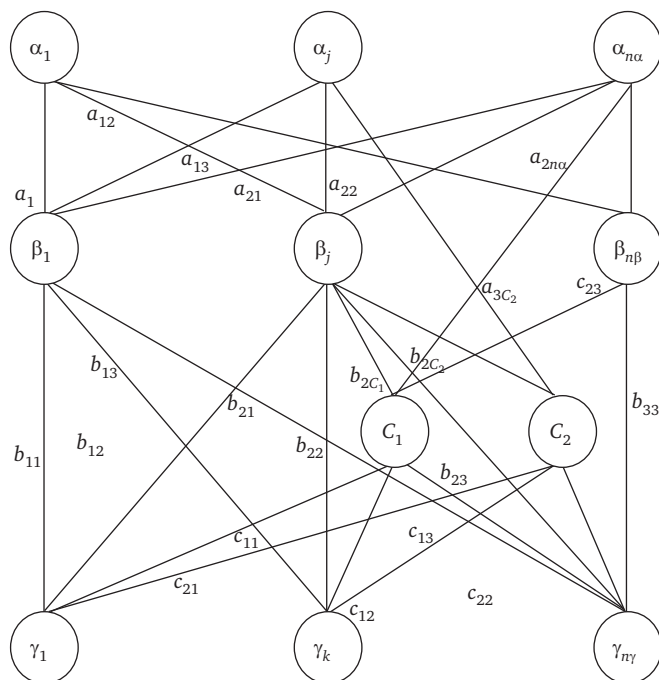


Рис. 6.24

Особенностью рынка является то, что есть, так называемые, стоковые склады. Здесь концентрируется продукция, которую предоставляют разного рода производители. Доступ к ним запрещен для дистрибьюторов, которые имеют право закупать только со склада производителя. Обычные же поставщики и крупные клиенты могут напрямую обращаться к ним.

На рис. 6.24 приведены различные пути поставки трех видов продукции тремя поставщиками для трех различных потребителей, интересы которых частично пересекаются. На рисунке приняты следующие обозначения: α — покупатели, β — торгово-посреднические организации, C — стоковые склады, γ — производители.

В этом случае нельзя использовать традиционный алгоритм реализации метода решающих матриц, поскольку в модели существуют сквозные связи (в нашем случае от производителей к поставщикам, минуя стоковые склады и от потребителей к стоковым

складам, минуя уровень поставщиков), т.е. пропускается один из уровней (поставщики). Таким образом, существует четырехуровневая модель взаимодействия и есть узлы, которые нарушают традиционную стратифицированную структуру взаимодействия, допускают взаимодействие через уровень.

Для решения задачи применен подход, основанный на сведении модели к двум моделям с тремя равноценными уровнями, в одной из которых стоковые склады помещены на один уровень с поставщиками, в другой — с производителями.

На основе проведенных исследований получен ряд рекомендаций. В частности, при устранении стоковых складов с уровня поставщиков в два раза увеличивается динамика значимости официальных дистрибьюторов по сравнению с теми, кто пользуется стоковыми складами. Поэтому для исключения одного из главных преимуществ конкурентов (меньшие сроки поставки) целесообразно разрешить официальным дистрибьюторам также приобретать товар со стоковых складов, они лучше будут осуществлять контроль качества продукции. Тем самым производитель повысит объемы своих продаж за счет имиджа производителя качественной продукции, а поставщики станут стремиться к получению статуса официального дистрибьютора, который обязывает отвечать за качество продукции.

После выбора товаров и поставщиков необходимо провести анализ путей их доставки от поставщиков к потребителям.

Для исследования процессов поставки, а также для подтверждения и уточнения полученных рекомендаций разработаны и исследованы модели доставки оборудования, базирующиеся на использовании CASE-средства BPWin.

Для решения задачи доставки товаров с учетом двух критериев — времени и стоимости перевозок разработан метод, основанный на сочетании идей метода минимального элемента и запрещенных клеток, а для реализации метода разработана автоматизированная диалоговая процедура¹.

¹ Кульков, И. А. Автоматизированная диалоговая процедура решения транспортной задачи методами минимального элемента и запрещенных клеток / И. А. Кульков, В. Н. Волкова // Материалы конференций политехнического симпозиума. — СПб. : СПбГПУ, 2006. — С. 156 — 157.

Темы для самоконтроля

1. Экспертные оценки: методы получения и анализа; достоинства и недостатки.
2. Недостатки экспертных оценок.
3. Организация процедур экспертной оценки.
4. Понятие о методах организации сложных экспертиз.
5. Классификация методов организации сложных экспертиз.
6. Метод организации экспертизы с учетом весовых коэффициентов критериев.
7. Система критериев оценки в методике ПАТТЕРН.
8. Метод решающих матриц Г. С. Поспелова и его модификации.
9. Модели организации сложных экспертиз, основанные на применении информационной меры А. А. Денисова.
10. Информационные модели сравнительного анализа нововведений.
11. Информационные модели рыночных ситуаций с учетом взаимного влияния товаров (в статике и при становлении товара на рынке).
12. Сравнительный анализ метода решающих матриц и моделей организации сложных экспертиз на основе информационного подхода.
13. Принципы разработки автоматизированной процедуры обработки экспертных оценок с учетом нескольких критериев и их весовых коэффициентов.
14. Принципы разработки автоматизированных процедур для реализации метода решающих матриц Г. С. Поспелова.
15. Принципы разработки автоматизированных процедур для реализации моделей, основанных на информационном подходе А. А. Денисова.

ГЛАВА 7

Информационное моделирование экономических систем

Излагается универсальный подход к моделированию систем на базе аппарата информационных цепей для систем с сосредоточенными параметрами и аппарата теории информационного поля для диффузных систем.

После изучения данной главы студент должен:

знать

- принципы построения макроэкономических моделей систем с сосредоточенными параметрами;
- диффузные макроэкономические модели;

уметь

- разрабатывать и осуществлять анализ макроэкономических моделей;

владеть

- навыками разработки простейших макроэкономических моделей экономических систем.
-

7.1. Обобщенная структура товарно-денежного обращения

Логарифмический критерий оценки экономической системы

Экономика (по большому счету) — это система удовлетворения материальных и духовных потребностей общества, и чем больше она их удовлетворяет, тем она лучше.

На первый взгляд из этого обстоятельства вытекает линейный критерий оценки качества (потенциала) экономики непосредственно по степени или вероятности p удовлетворения потребностей общества. Однако на практике линейный критерий оказывается неадекватным реальному положению дел, поскольку улучшить малоэффективную экономику сравнительно легко, но улучшение и без того эффективной экономики требует колоссальных усилий. Это и понятно, ибо, к примеру, удовлетворить потребность рядового потребителя в индивидуальном средстве передвижения можно посредством сравнительно дешевой поношенной иномарки, но удовлетворить аналогичную потребность олигарха, уже имеющего несколько дорогих автомобилей, можно лишь посредством самолета или дорогостоящих яхт, так что доля национального валового продукта J , идущего на удовлетворение этой потребности, в первом случае значительно меньше, чем во втором.

Поэтому практически более подходящим для оценки потенциала H_0 экономической системы является введенный в гл. 3 логарифмический критерий

$$H_0 = -\log (1 - p'), \quad (7.1)$$

где в случае двоичных логарифмов потенциал выражается в битах.

При этом если потребности общества удовлетворяются наполовину ($p=0,5$), то $H_0 = 1$ бит. Но по мере роста p потенциал растет значительно быстрее и при $p = 1$ (чего реально никогда не бывает) $H_0 = \infty$.

Но если экономика вообще не удовлетворяет потребности общества, т.е. $p=0$ (чего тоже реально быть не может), то ее потенциал тоже, естественно, нулевой $H_0 = 0$.

Практические экономисты иногда отделяют потенциал H_0 экономики как ее возможности в благоприятной обстановке от реальной экономической эффективности H в условиях неблагоприятных случайных обстоятельств, что связано со средней степенью q риска в удовлетворении потребностей.

В этом случае

$$H = H_0 (1 - q), \quad (7.1a)$$

где q изменяется от нуля в идеальных условиях до единицы в катастрофических условиях.

Однако всегда можно привести H по форме к H_0 , если обозначить $1 - p' = (1 - p)^{1-q}$, где p' — степень удовлетворения потребностей в рискованной ситуации.

Если в каждый данный момент в обращении находится J рублей материальных ценностей, включая товары и деньги, то основной закон логики принимает форму

$$n = J/H, \quad (7.2)$$

где n — емкость экономики, выражаемая в руб/бит.

Однако, поскольку экономики с одинаковыми J могут согласно (7.2) отличаться по H и наоборот, то для их сопоставления необходимо использовать пересечение J и H

$$C = JH = nH^2 = J^2/n, \quad (7.3)$$

где C — выражаемая в руб · бит собственная сущность экономики — универсальный статистический критерий сравнения экономик, различающихся по всем иным показателям, хотя использование H_0 вместо H является более точным.

Из (7.1) и (7.2) также следует, что средняя степень удовлетворения потребностей общества составляет

$$p' = 1 - 2^{-J/n}. \quad (7.16)$$

Последнее соотношение формально констатирует тот очевидный факт, что чем больше оборот валового национального продукта J и чем меньше емкость экономики n , тем больше степень p удовлетворения потребностей (рис. 7.1).

Из графиков на рис. 7.1 очевидно, что крутизна (наклон) кривых в начале шкалы, где она составляет $n/\ln 2$, значительно больше, чем при больших значениях J , так что рост валового продукта свыше примерно $4n/\ln 2$ с точки зрения удовлетворения внутренних потребностей становится неэффективным и тормозится.

Таким образом, можно сформулировать закон убывающей эффективности оборота, согласно которому в сравнительно благо-

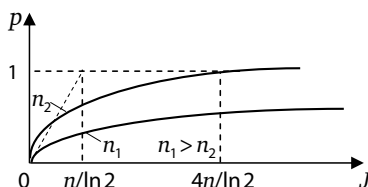


Рис. 7.1

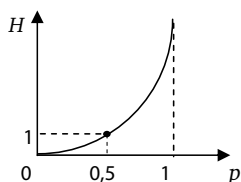


Рис. 7.2

приятных условиях все экономики имеют тенденцию к выравниванию своих потенциалов (раньше или позже). Поскольку этому закону подчинены все компоненты оборота, то в частном случае он становится известным законом убывающей эффективности капиталовложений.

На рис. 7.2 показан график роста экономического потенциала в зависимости от средней степени удовлетворения потребностей общества, из которого следует, что малейшее увеличение p в конце шкалы приводит к колоссальному росту H , в то время как в начале шкалы этот рост минимален.

Потенциал экономики характеризует экономическую систему лишь с точки зрения ее состояния.

Между тем система не пребывает в застывшем состоянии, поскольку в ней текут экономические процессы обращения валового продукта от производства через обмен к потреблению и новому воспроизводству.

Это обращение в общем случае происходит не по замкнутому циклу, а по спирали, поскольку в здоровой экономике каждый новый цикл обращения приводит к увеличению национального продукта, а в кризисной экономике — к его уменьшению.

Но, как бы то ни было, интенсивность обращения или просто обращение продукта составляет

$$I = dJ/dt, \quad (7.4)$$

где I имеет размерность руб/с и представляет величину национального продукта, протекающего через сечение спирали обращения в единицу времени. Чем больше обращение I капиталов, товаров и услуг, тем динамичнее экономика, однако динамичная экономика вполне может оказаться менее эффективной, чем не динамичная, поскольку (7.1) и (7.4) относительно независимы друг от друга. Поэтому исчерпывающей характеристикой экономической системы является ее мощность как производная от (7.3)

$$N = IH, \quad (7.5)$$

где N имеет размерность руб · бит /с и характеризует производительность экономики.

Экономическая мощь характеризует систему как со стороны объемного показателя I , так и со стороны качественного показателя H , что позволяет посредством (7.5) сравнивать экономики, различающиеся между собой как по эффективности H , так и по динамичности I .

Именно этот показатель ставил экономическую мощь СССР на второе место после США, хотя по эффективности экономики СССР значительно уступал, например, Швеции, зато намного превосходил последнюю по обороту.

И только США превосходили СССР как по потенциалу H своей экономики, так и по обороту I валового национального продукта.

В установившемся режиме, т.е. в условиях стационарного оборота I , последний, конечно же, инициируется экономическим потенциалом H , поскольку чем больше степень удовлетворения потребностей, тем больше и оборот, ибо тем больше его привлекательность, как для производства, так и для потребления. Однако интенсивность оборота ограничивается сопротивлением τ обороту, которое складывается из сопротивления производства и сопротивления потребления.

В результате имеет место «экономический закон Ома»

$$I = H / \tau, \quad (7.6)$$

согласно которому оборот пропорционален потенциалу H экономической системы и обратно пропорционален выраженному в бит · с / руб сопротивлению τ обороту. Причем τ характеризует качество производства, обмена и потребления, ибо, например, чем выше производительность труда, тем меньше время производства каждой единицы продукции.

Из (7.4) следует, что НВП составляет $J = \int_0^{t_y} I dt$, где $t_y = 1$ год.

Из (7.5) и (7.6) также следует

$$N = H^2 / \tau, \quad (7.7)$$

т.е. экономическая мощь системы пропорциональна квадрату ее экономического потенциала и обратно пропорциональна сопротивлению оборота.

Но (7.7) можно переписать и в форме

$$N = I^2 \tau, \quad (7.8)$$

в которой экономическая мощность пропорциональна как квадрату оборота, так и сопротивлению оборота рублевой стоимости.

Повторим, что все это имеет место в стационарном режиме работы экономической системы, а в переходных режимах, т.е. при всех изменениях оборота I , существенно сказывается инертность L (ригидность) системы.

Инертность является важнейшим фактором при прогнозировании поведения системы вследствие тех или иных изменений ее параметров. Она позволяет, во-первых, определить потенциал инерции системы

$$H_L = L dI/dt, \quad (7.9)$$

где L измеряется в бит \cdot с²/руб, который в начале любых потрясений какое-то время снижает на H_L экономический потенциал H , и степень p удовлетворения потребностей общества, а в конце передрыг (реформ), наоборот, увеличивает H , причем в принципе потенциал инерции хоть и временно, но может даже превышать экономический потенциал, и в этот период именно он определяет состояние и поведение экономики.

Во-вторых, инертность L системы позволяет определить запас (энергию знаний и опыта) C_L ее инерции в каждый данный момент времени в зависимости от оборота

$$C_L = LI^2/2. \quad (7.10)$$

Этот запас измеряется в руб \cdot бит и позволяет судить об успешности и эффективности любого рода управляющих воздействий в данный момент времени.

По сути своей это энергия опыта (запаса знаний, информации), накопленная системой за время становления оборота.

Чем больше C_L , тем меньше эффективность управления, но тем больше стойкость системы в отношении воздействия на нее вся-

кого рода негативных факторов вроде стихийных бедствий или внезапных банкротств крупных корпораций.

При малых значениях C_L уязвимость экономики возрастает, зато управление ею становится более действенным.

Так, поскольку в 1920-е гг. опыт социалистического (общественного) бытия в СССР был еще невелик, то переход к нэпу прошел быстро и безболезненно, но в 1990-е гг. тот же переход затянулся надолго и стал весьма болезненным, поскольку к тому моменту социализм в СССР уже глубоко укоренился как в экономике, так и в общественном сознании.

На самом верхнем уровне абстрагирования (обобщения) все эти показатели символически укладываются в цепную макроэкономическую модель оборота валового национального продукта (рис. 7.3).

В этой цепи все процессы описываются системой дифференциальных уравнений

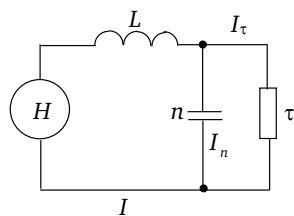


Рис. 7.3

$$\begin{cases} H = I_\tau \tau + L dI / dt, \\ I_\tau \tau = \frac{1}{n} \int I_n dt, \\ I = I_\tau + I_n, \end{cases} \quad (7.11a)$$

которая приводится к одному уравнению второго порядка

$$H + n\tau dH / dt = I_\tau \tau + L dI / dt + n\tau L d^2 I / dt^2 \quad (7.11b)$$

Из (7.11) прямо следует, что, во-первых, в переходных режимах потенциал H экономики определяется не только потенциалом валового национального продукта $H_n = I_\tau \tau = \frac{1}{n} \int I_n dt$, но и потенциалом инерции $H_L = L dI / dt$, т.е. их суммой, и, во-вторых, что оборот I складывается из двух компонент — активной I_τ (товары и услуги) и пассивной I_n , где последняя связана с изменением НВП $I_n = n dH / dt$.

Нетрудно видеть, что в этой цепи емкость воплощает закон обратной зависимости между объемом n понятия и его содержанием H (7.2), сопротивление воплощает диалектический закон изменчивости (отрицания) (7.6), ригидность воплощает закон

отрицания отрицания (7.9), а все вместе воплощают закон единства противоположностей (7.11б).

Исследование простейшей макроэкономической модели

Простейшая макроэкономическая структура оборота, изображенная на рис. 7.3 и описываемая уравнениями (7.11), позволяет, тем не менее, установить ряд общих закономерностей экономических процессов, которые при более подробном моделировании экономики могут только уточняться, но не отменяться.

В случае внезапных возмущений в системе вследствие стихийных бедствий, технологических катастроф, политических потрясений, вызвавших, например, некоторое скачкообразное приращение потенциала на ΔH (любого знака), соответствующие приращения ΔI оборота описываются решением (7.11) в форме

$$\Delta I = \frac{\Delta H}{\tau} \left[1 + \left(\frac{\tau n - \delta T}{T\sqrt{\delta^2 - 1}} \operatorname{sh} \frac{t\sqrt{\delta^2 - 1}}{T} - \operatorname{ch} \frac{t\sqrt{\delta^2 - 1}}{T} \right) \exp\left(-\frac{\delta t}{T}\right) \right], \quad (7.12a)$$

если $\delta = \frac{1}{2\tau} \sqrt{L/n} > 1$, либо в форме

$$\Delta I = \frac{\Delta H}{\tau} \left[1 - \left(\frac{n\tau t}{T^2} + 1 \right) \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right], \quad (7.12б)$$

если $\delta = 1$, наконец, в форме

$$\Delta I = \frac{\Delta H}{\tau} \left[1 + \left(\frac{n\tau - \delta T}{T\sqrt{1 - \delta^2}} \sin \frac{t\sqrt{1 - \delta^2}}{T} - \cos \frac{t\sqrt{1 - \delta^2}}{T} \right) \exp\left(-\frac{\delta t}{T}\right) \right], \quad (7.12в)$$

если $\delta < 1$, где δ характеризует затухание колебаний экономики, вызванные возмущением, а $T = \sqrt{nL}$ представляет период этих колебаний.

Из соответствующих кривых, представленных на рис. 7.4, следует, что при $\delta = 1$, т.е. при $L = 4n\tau^2$, реакция экономики носит плавный (постепенный) характер.

При $\delta > 1$, т.е. при $L > 4n\tau^2$ экономика нервно реагирует на возмущение и до некоторой степени неадекватно, поскольку ее реакция в иные моменты даже превосходит возмущение.

При $\delta < 1$, т.е. при $L < 4n\tau^2$, реакция носит колебательный характер с подъемами и спадами, причем, если период τ обращения составляет половину периода T (см. рис. 7.4) колебаний оборота, т.е. $T = 2\tau$, то периоды обращения будут чередоваться по интенсивности оборота, например когда первый оборот депрессивный, то второй интенсивный, третий вновь депрессивный и т.д.

Интересно, что при $L \ll 4n\tau^2$, т.е. при очень лабильной (подвижной) экономике, $\delta \rightarrow 0$ и колебания оборота долго не затухают. Зато в неповоротливой экономике ($L \gg 4n\tau^2$) колебаний оборота либо вовсе нет, либо они быстро затухают.

С этим приходится считаться при управлении экономикой.

Практически все эти процессы затухают при $t \approx 4T/\delta = 8n\tau$.

Разумеется, что все это справедливо в случае линейности системы, т.е. если ее τ , n и L не зависят от оборота I и его производных.

В противном случае действует закон перехода количественных изменений в качественные: когда, например, напуганные спадом оборота производители сворачивают производство, увеличивая τ , а не менее напуганные потребители скупают все подряд, увеличивая свои запасы, следует проводить линеаризацию системы, которая может быть кусочной в ограниченных пределах изменения I , либо квадратичной при колебаниях оборота в широких пределах.

Если диапазон изменения I от a до b невелик (рис. 7.5), а кривая 2 в пределах этого диапазона достаточно плавная, то можно в некоторой средней точке c диапазона просто провести касательную к этой кривой, а $\operatorname{tg} \alpha$ в этой точке использовать как постоянное для всего диапазона значение τ , которое для других диапазонов будет иным.

Если же кривая 2 в пределах диапазона изменения I имеет большую кривизну, то поскольку площадь заштрихованного треугольника составляет $S_1 = \tau(b-a)^2/2$, а та его часть, которая сверху ограничена кривой 2, составляет $S_2 = \int_a^b H(I) dI - (b-a)H(a)$, то

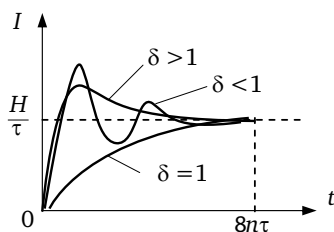


Рис. 7.4

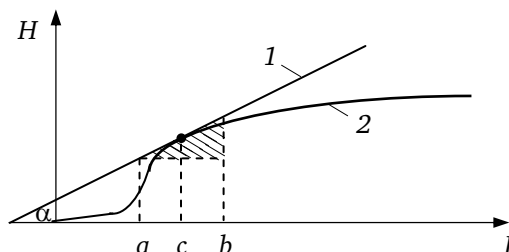


Рис. 7.5

так же, как для прямой 1 $\tau_1 = 2S_1/(b-a)^2$, для кривой 2 $\tau_2 = 2S_2/(b-a)^2$, что дает среднеквадратическое значение τ в диапазоне от a до b и его можно использовать во всех уравнениях (7.11) и (7.12).

В заключение этого раздела необходимо заметить, что принятая выше на веру экспоненциальная зависимость (7.16) степени p удовлетворения потребностей от эффективности H (потенциала) экономической системы является определенным восходящим к Шеннону упрощением, поскольку справедлива лишь в системах без последствия (инертности L), т.е. только для марковских процессов, когда в (3.24) $\gamma = 1$ (см. табл. 3.1 в гл. 3).

В общем же случае систем с последствием

$$p = 1 - \left[\frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 - 1}} \operatorname{sh} H \sqrt{\delta^2 - 1} + \operatorname{ch}(H \sqrt{\delta^2 - 1}) \right] \exp(-\delta H), \quad (7.13)$$

где степень удовлетворения потребностей зависит не только от эффективности H системы, но и от затухания δ процессов в ней, которое зависит от системы. Это делает (7.13) в отличие от (7.1) неразрешимым в явном виде относительно H даже при $\delta = 1$, когда процесс носит сравнительно плавный характер, хотя в компьютерном исполнении это не составляет труда. Тем не менее, именно формула Шеннона (7.1) получила, несмотря на ограниченность пределами марковских процессов, широкое распространение, что для процессов с последствием представляется неоправданным.

Действительно, решение (7.13) приводит к процессам, подобным изображенным на рис. 7.4, если по вертикальной оси откладывать p , а по горизонтальной оси откладывать H/a .

Тогда при $\delta > 1$ степень удовлетворения потребностей может стать даже больше единицы за счет рекламных акций (часто жульнических), побуждающих потребителей обзаводиться либо ненужными вещами и услугами, либо удовлетворять потребности сверх необходимого.

В случае $\delta < 1$ потребителя лихорадит, последовательно бросая его то в жар гедонизма, то в холод аскетизма.

И в этих двух последних случаях формула (7.16) Шеннона не работает, т.е. не заменяет (7.13), что полезно иметь в виду.

Это значит, что закон убывающей эффективности всякого рода усилий (в том числе капиталовложений), вытекающий из (7.16), имеет ограниченное применение.

Чаще приходится иметь дело с законом переменной эффективности (7.13), пригодным во всех случаях, включая процессы с последствием.

Поэтому инвесторам, прежде чем делать масштабные капиталовложения, следует сделать небольшие пробные инвестиции и изучить их последствия.

Если эффективность пробных инвестиций высокая, то мы имеем дело с процессом (7.16) без последствия, в котором наклон экспоненты с самого начала большой, а затем убывает (закон убывающей эффективности).

В этом случае капиталовложения целесообразны лишь до $p = 0,5$, т.е. $H = 1$, а дальше они не эффективны.

Если же эффективность пробных инвестиций мала или даже нулевая, то мы имеем дело с процессом (7.13) с последствием, когда согласно рис. 7.4 наклон всех кривых вначале нулевой, а затем нарастает вплоть до $p > 1$ как для $\delta > 1$, так и для $\delta < 1$, после чего эффективность капиталовложений постепенно снижается.

Характерное для последствия превышение p над единицей объясняется инертностью соответствующей системы, вызванной, например, настойчивой пропагандой (рекламой) необходимости такого перехода за грань необходимого.

Обычно пропаганда умеренности вплоть до аскетизма, характерная для коммунистических и религиозных учений, превращает систему потребления в марковскую (без последствия), а общество потребления, требуя излишеств, делает систему инерционной в духе (7.13).

Что касается затухания δ , то его можно определить посредством тех же малых пробных инвестиций, поскольку при малости H уравнение (7.13) обращается в $p \approx \delta H$, откуда $\delta \approx p/H$.

Все это относится не только к капиталовложениям, но и вообще к любого рода деятельности.

Так, рост числа автомобилей в личном пользовании граждан города вначале способствует решению транспортной проблемы вплоть до некоторого максимума, а затем во все большей степени осложняет ее решение из-за роста аварийности и пробок на дорогах.

Точно также модернистские эксперименты в искусстве вначале никем не воспринимаются, затем становятся повальным модным увлечением и, наконец, набив оскомину, откатываются на то место в искусстве, которое они объективно заслуживают.

Параметрическое управление макроэкономикой

Но помимо спонтанных возмущений, описываемых уравнениями (7.11) и (7.12), экономика испытывает также управляющие воздействия со стороны органов управления ею.

Реально эти воздействия осуществляются посредством изменения путем инвестиций параметров τ , n и L экономической системы, следовательно, управление экономикой относится к классу параметрических управлений, хотя возможно и прямое изменение H за счет улучшения качества продукции, что, однако, требует много времени.

Формально дифференциальное уравнение макроэкономической системы в условиях параметрического управления ею мало отличается от (7.11а). Нужно только соответствующие параметры ввести под знак производной

$$H + d(n\tau H) / dt = I\tau + d(LI) / dt + d^2(n\tau LI) / dt^2. \quad (7.11в)$$

Однако если раскрыть скобки в (7.11в), то, например, при управлении только сопротивлением τ обороту получим

$$\begin{aligned} H(+ nd\tau / dt) + n\tau dH / dt = I(\tau + nLd^2\tau / dt^2) + \\ + L(+ 2nd\tau / dt)dI / dt + n\tau Ld^2I / dt^2, \end{aligned} \quad (7.11г)$$

в котором, в отличие от (7.11б), $T^2 = nL\tau / (\tau + nLd^2\tau / dt^2)$ и $\delta = (+2nd\tau / dt)\sqrt{L} / 2\sqrt{n\tau(\tau + nLd^2\tau / dt^2)}$ зависят от времени.

Это значит, что во время переходного процесса, вызванного изменением τ , колебания оборота будут изменяться как по периоду (частоте), так и по затуханию, которое при условии $2nd\tau / dt < -1$ становится отрицательным и может привести систему сначала к перегреву, а потом к развалу экономики.

Так, если мы хотим уменьшить сопротивление τ обороту от τ_c до τ_n посредством капиталовложений в модернизацию производства, то согласно закону убывающей эффективности капиталовложений можно ожидать экспоненциального уменьшения

$$\tau = \tau_n + (\tau_c - \tau_n)e^{-\alpha t}, \quad (7.14a)$$

где α — показатель убывания эффективности управления.

Соответственно

$$d\tau / dt = -\alpha(\tau_c - \tau_n)e^{-\alpha t} \quad (7.14б)$$

и

$$d^2\tau / dt^2 = \alpha^2(\tau_c - \tau_n)e^{-\alpha t} \quad (7.14в)$$

Теперь с учетом (7.14)

$$T^2 = nL[\tau_n + (\tau_c - \tau_n)e^{-\alpha t}] / [\tau_n + (\tau_c - \tau_n)(-nL\alpha^2)e^{-\alpha t}]; \quad (7.15a)$$

$$\delta = [-2n\alpha(\tau_c - \tau_n)e^{-\alpha t}]\sqrt{L} / 2\sqrt{n[\tau_n + (\tau_c - \tau_n)e^{-\alpha t}][\tau_n + (\tau_c - \tau_n)(-nL\alpha^2)e^{-\alpha t}]} \quad (7.15б)$$

Из этих соотношений следует, что хотя в установившемся режиме ($t = \infty$) $T^2 = Ln$, $\delta = \sqrt{L} / 2\tau_n\sqrt{n}$, а $I = H/\tau_n$, т.е. оборот принимает ожидаемые размеры, но до этого режима система может и не дожить, поскольку может разрушиться еще в переходном процессе, если

только $2n\alpha(\tau_c - \tau_n) > e^{-\alpha t}$, что вполне возможно, особенно в начале процесса (при малых t).

В последнем случае $2n\alpha(\tau_c - \tau_n) > (1 + \alpha t)$, δ становится отрицательным, а I может выйти за пределы допустимого по условиям жизнедеятельности экономики тем вероятнее, чем больше желаемые пределы $(\tau_c - \tau_n)$, емкость n системы и начальная эффективность капиталовложений при $t = 0$.

Что касается конкретного поведения I в процессе управления им посредством τ , то формально оно описывается прежними соотношениями (7.12), но с учетом полученных здесь новых значений T и δ .

Исследуем теперь поведение системы, если управление ею осуществляется путем увеличения n посредством повышения цен без изменения качества товаров.

Уравнение системы принимает в этом случае форму

$$H + \tau d(nH) / dt = I\tau + LdI / dt + \tau Ld^2(nI) / dt^2, \text{ т.е.}$$

$$\begin{aligned} H(+ \tau dn / dt) + n\tau dH / dt = I\tau(+ Ld^2n / dt^2) + \\ + L(+ 2\tau dn / dt)dI / dt + \tau nLd^2I / dt^2, \end{aligned} \quad (7.11r)$$

где $T^2 = nL / (+ Ld^2n / dt^2)$;

$$\delta = (+ 2\tau dn / dt \sqrt{L} / 2\tau \sqrt{n(+ Ld^2n) / dt^2})$$

Если принять, что n будет расти по экспоненциальному закону $n = (n_n - n_c)(1 - e^{-\beta t})$ (где β — начальная эффективность стимуляции потребностей; n_n — новое (желаемое) значение n ; n_c — исходное (старое) значение n), то

$$T^2 = nL / [- L\beta^2(n_n - n_c)e^{-\beta t}], \quad (7.16a)$$

а

$$\delta = [+ 2\tau\beta^2(n_n - n_c)e^{-\beta t}] \sqrt{L} / 2\tau \sqrt{n[- L\beta^2(n_n - n_c)e^{-\beta t}]} \quad (7.16b)$$

Это означает, что в случае $L\beta^2(n_n - n_c) > 1 + \beta t$ период колебаний и затухание экономики становятся мнимыми и в это время экономику может сильно заштормить и выбросить за пределы работоспособности.

Если же управлять инертностью L системы, уменьшая ее путем внедрения гибких производств и рекламных акций, расшатывающих стереотипы производства и потребления, то соответствующие инвестиции будут давать эффект $L = (L_c - L_n)e^{\gamma t} + L_n$, где L_n — новое (желаемое) значение L ; L_c — исходное (старое) ее значение; γ — начальная эффективность инвестиций.

При этом уравнение процессов в экономике, вызванных изменением инертности системы, примет форму

$$H + n\tau dH / dt = I(\tau + dL / dt + n\tau d^2 L / dt^2) + (L + 2n\tau dL / dt)dI / dt + n\tau L d^2 I / dt^2, \quad (7.11д)$$

где $T^2 = n\tau[(L_c - L_n)e^{-\gamma t} + L_n] / [\tau - \gamma(L_c - L_n)(1 - n\tau\gamma)e^{-\gamma t}]$; (7.17а)

$$\delta = [L - 2n\tau\gamma(L_c - L_n)] : 2\sqrt{n\tau[(L_c - L_n)e^{-\gamma t} + L_n][\tau - \gamma(L_c - L_n)(1 - n\tau\gamma)e^{-\gamma t}]} \quad (7.17б)$$

Из этих выражений очевидно, что как T^2 , так и δ могут менять знак в переходном процессе, что означает то чрезмерный рост, то внезапный спад, т.е. возможно недопустимые потрясения, о которых хотелось бы знать заранее, исследуя модель экономики.

Разумеется, можно управлять экономикой по всем параметрам n , τ и L одновременно и тогда последствия этого будут налагаться друг на друга, создавая совершенно фантастические реакции системы, которые умозрительно невозможно предсказать.

Эти реакции описываются уравнением (7.11б), если в нем взять производные от всех параметров в скобках, что не составляет труда, однако приводит к громоздким выражениям, которые мы не станем выписывать, оставляя эту процедуру читателям, если у них возникает такая потребность.

До сих пор наши рассуждения об управлении экономикой носили характер предостережения от необдуманного вмешательства в ее процессы.

Иными словами, речь шла о недопустимости управления экономикой на базе благих пожеланий относительно конечного результата, поскольку на пути к нему в переходном процессе возможен выход за границы диапазона работоспособности системы с непоправимыми последствиями.

Это значит, что последствия вмешательства в экономику должны быть предварительно тщательно исследованы на ее модели не только в статике, но и в динамике.

Теперь же мы ставим вопрос иначе: как добиться того, чтобы в переходном процессе обеспечить более или менее продолжительный экономический рост?

Дело в том, что сама по себе система, описываемая дифференциальным уравнением второго порядка с положительными коэффициентами n , τ и L (7.11a), всегда устойчива, т.е. при любых возмущениях она рано или поздно приходит к застою и сама развиваться не может.

Другое дело, что, например, при непрерывном уменьшении τ за счет капиталовложений в расширение производства и потребления оборот мог бы непрерывно возрастать.

Но, поскольку в силу убывающей эффективности капиталовложений изменение τ может быть лишь экспоненциальным, т.е. ограниченным по величине, то и прирост оборота ΔI будет ограниченным с последующим застоем, хотя и на более высоком уровне, нежели исходный.

Конечно, всякого рода технологические прорывы восстанавливают эффективность капиталовложений, однако они не всегда случаются по заказу, а чаще их приходится долго ожидать, пребывая в это время в застое.

Остается лишь уповать на то, что экономическое своеволие системы в пределах переходного процесса в ней удастся направить в желаемое русло экономического роста на достаточно продолжительном отрезке времени, который в идеале можно было бы продлить путем надлежащего изменения во времени параметров n , τ и L .

Мероприятие это достаточно рискованное, поскольку после значительного роста оборот все равно должен вернуться к установившемуся новому значению, определяемому n_n , τ_n , L_n , что неизбежно будет сопровождаться спадом оборота, который можно предотвращать, если за время роста экономики позаботиться об осво-

ении более эффективной по степени удовлетворения потребностей продукции, тем самым увеличивая H до уровня, обеспечивающего закрепление оборота, достигнутого в процессе роста.

Вообще же, раскачав систему тем или иным из перечисленных способов и имея в запасе возможность ее стимулирования каким-либо из оставшихся средств, следует, во-первых, подключать эти резервы роста лишь в момент проявления тенденции к экономическому спаду, и, во-вторых, варьируя n и L , обеспечить плавность поведения системы при исчерпании резервов ее роста, что отдалит ее неизбежное приближение к застою.

Если необходимо отразить влияние мировой экономики на национальную, то на верхнем уровне макроэкономического обобщения дело формально сводится к дополнительному введению в модель факторов взаимодействия: τ_B — сопротивление обороту товаров и денег между мировой и национальной экономиками; n_B — емкость межэкономического оборота; L_B — ригидность межэкономического оборота, т.е. чувствительность национальной экономики к изменениям мировой экономики.

Тогда математическая модель макроэкономики примет вид

$$H + n_o \tau_o dH / dt + n_B \tau_B dH_M / dt = I \tau_o + I_M \tau_B + L_o dI / dt + L_B dI_M / dt + n_o \tau_o L d^2 I / dt^2 + n_B \tau_B L_B d^2 I_M / dt^2, \quad (7.11e)$$

где H_M и I_M — параметры мировой экономики, оказывающие влияние на национальную экономику в меру ее соответствующих эластичностей n_B , τ_B и L_B . Однако нагляднее это влияние отражается символической цепной схемой (рис. 7.6), где слева национальная экономика (см. рис. 7.3), справа аналогичная по форме мировая экономика, между ними стыковочный узел с параметрами n' , τ' и L' (таможня, визовые службы и т.п.), а I' — результирующий (суммарный) переток стоимостей между экономиками.

Этой схеме соответствует система уравнений

$$I = I_n + I_\tau - I'; I_M = I_{nM} + I_{\tau M} + I';$$

$$I_\tau \tau = - \int n dt; I_{\tau M} \tau_M = - \int n_M dt;$$

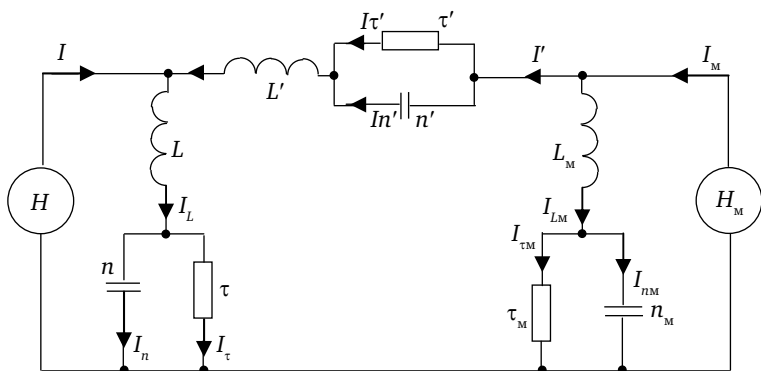


Рис. 7.6

$$H = I_{\tau M} \tau_M - I' \tau' + L_M \frac{dI_{LM}}{dt} - L' \frac{dI'}{dt}; \quad (7.11\text{ж})$$

$$H_M = I' \tau' + I \tau + L \frac{dI_L}{dt} + L' \frac{dI'}{dt};$$

$$L \frac{dI_L}{dt} + I \tau + I' \tau' + L' \frac{dI'}{dt} = I_{\tau M} \tau_M + L_M \frac{dI_{LM}}{dt};$$

$$I' \tau' = \frac{1}{n'} \int I_n' dt;$$

решение которой приводит к (7.11е), но с явным выражением эластичностей через параметры обеих экономик.

Так, например, кинетическая эластичность имеет вид $\tau_0 = \tau(\tau_M + \tau') / (\tau + \tau_M + \tau')$, и в результате $\tau_B = \tau \tau_M / (\tau + \tau_M + \tau')$, из чего следует, что при отсутствии взаимодействия экономик, т.е. при $\tau' = \infty$, $\tau_B = 0$; при $\tau' = 0$, т.е. при свободном перетоке стоимостей, получается $\tau_B = \tau \tau_M / (\tau + \tau_M)$; а при $H > H_M$ эта эластичность может стать отрицательной, если $\tau' < (\tau_M + \tau)$.

Аналогичные выводы можно сделать и из аналогичных выражений для статической и динамической эластичностей, получаемых из (7.11ж): $n_0 = (n' n_M + n n' + n_M n) / (n' + n_M)$, $n_B = (n' n_M + n n' + n_M n) / n'$, $L_0 = L(L_M + L') / (L + L_M + L')$ и $L_B = L L_M / (L + L_M + L')$.

Обратим внимание, что согласно модели на рис. 7.6 в статике равнопотенциальные экономики при $H = H_M$, в целом никак не взаимодействуют, ибо находятся в равновесной конкуренции, но равномошные экономики, т.е. при $N = N_M$, вполне могут взаимодействовать, если $H \neq H_M$.

Разумеется, в рамках рассмотренной модели отсутствие взаимодействия не означает их изоляции друг от друга, но подразумевает полный баланс взаимообменных процессов.

Если в схеме на рис. 7.3 разделить производство (индекс 1) и потребление (индекс 2), то получим структуру, приведенную на рис. 7.7.

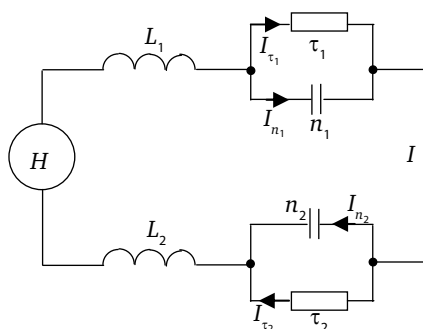


Рис. 7.7

где $L_1 dI / dt + I_{\tau_1} \tau_1 = H_1$ — совокупная меновая, т.е. взаимная сущность экономики, а $L_2 dI / dt + I_{\tau_2} \tau_2 = H_2$ — совокупная потребительная, т.е. системная сущность экономики, $H_1/H = \alpha$ — целостности (связности) экономики, $H_2/H = \beta$ — степень свободы потребителей в приобретении товаров и услуг, а $\alpha + \beta = 1$ — основной закон системологии (3.28), (3.32), (3.33).

Рассмотренная обобщенная макроэкономическая модель изолированной национальной экономики позволяет изучать особенности поведения оборота как целого без расчленения на товарную и финансовую составляющие.

Между тем только взаимоотношения товарного и денежного оборотов могут объяснить, например, столь важный процесс как инфляция или взаимоотношения с мировой экономикой, что требует обращения к развернутой структуре (функциональной страте) товарно-денежного обращения, чем мы сейчас и займемся.

Но стратификация макроэкономики подразумевает существование еще и отраслевой страты, к которой мы обратимся позже.

7.2. Развернутая структура товарно-денежного обращения (функциональная страта)

Несмотря на то что мы намерены провести структуризацию макроэкономической модели, выделение в ней взаимодействующих частей, структурированная модель должна остаться макроэкономической, поскольку хотя круг затрагиваемых процессов и проблем расширяется за счет политэкономических аспектов, но все они остаются макроэкономическими, общесистемными.

Товарно-денежное обращение в изолированной экономике

Рассмотрим структуру товарно-денежного обращения от производства и продажи до покупки и потребления и от бюджетных расходов к доходам бюджета, изображенную на рис. 7.8.

На этом рисунке H — потенциал (эффективность) экономики, образующий ее собственную стоимость, все I_k — элементы оборота, все H_k — потенциалы подсистем; 1 — подсистема производства товаров и услуг, образующая их меновую (взаимную) стоимость; 2 — подсистема потребления, образующая потребительную (системную) стоимость; 3 — подсистема бюджетных расходов, образующая меновую (взаимную) стоимость денег; 4 — подсистема бюд-

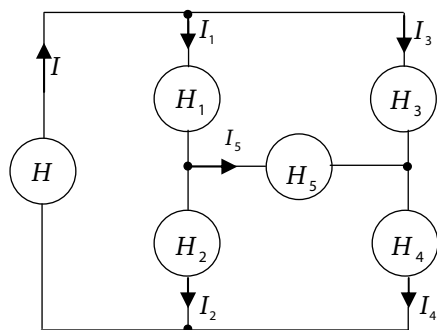


Рис. 7.8

жетных доходов, образующая потребительную (системную) стоимость денег; 5 — подсистема товарно-денежного обмена.

Согласно этой структуре товарно-денежный оборот I распадается на товарную I_1 и денежную I_3 составляющие, характеризующие интенсивности производства товаров и эмиссии денег, соответственно.

Эти составляющие участвуют в товарно-денежном обмене в подсистеме 5, где суммарная интенсивность обмена составляет I_5 .

После торгового обмена товарный оборот I_2 характеризует интенсивность потребления товаров, а денежный оборот I_4 характеризует интенсивность налогов и сборов.

В итоге система товарно-денежного оборота описывается системой уравнений

$$I = I_1 + I_3 = I_4 + I_2; \quad I_1 = I_2 + I_5; \quad I_4 = I_3 + I_5, \quad (7.18)$$

причем направления всех элементов оборота, кроме I_5 , всегда совпадают со стрелками на рис. 7.8 и только направление I_5 либо совпадает со стрелкой, если бюджет профицитный, либо противоположен ей, если бюджет дефицитный.

Система (7.18) представляет баланс материальных потоков (закон их сохранения), подчиняющихся в цепных моделях первому закону Кирхгофа для узлов разветвления оборотов

$$\sum_k^{\perp} I_k = 0. \quad (7.18a)$$

В свою очередь экономический потенциал H системы складывается из совокупности потенциалов подсистем, так что

$$H = H_3 + H_4 = H_1 + H_2 = H_1 + H_5 + H_4 = H_3 + H_2 - H_5. \quad (7.19)$$

Система (7.19) представляет баланс цен, подчиняющихся в цепных моделях второму закону Кирхгофа для замкнутых контуров

$$\sum_{k=1}^{\Delta} H_k = 0. \quad (7.19a)$$

Этих уравнений с избытком достаточно для определения всех элементов оборота, если известны параметры n , τ и L всех восьми подсистем, связывающие I_k и H_k согласно (7.11). Разберемся с этими параметрами.

В подсистеме производства I_1 представляет производительность труда, т.е. товарную массу (в рублях), производимую в единицу времени; τ_1 — технологически предопределенное время производства одного бита на рубль товарной массы. Таким образом, согласно (7.11) и рис. 7.3 $H_1 = I_{\tau_1}$ представляет выраженную в битах меновую стоимость продукции.

Поэтому в то же время $H_1 = J_1/n_1$, где J_1 — рублевая стоимость материальных и трудовых ресурсов, задействованных в производстве, а n_1 — емкость подсистемы производства, т.е. рублевая стоимость одного бита товарной массы в этой подсистеме.

В переходном режиме, т.е. при модернизации производства или освоении новой продукции, H_1 складывается из двух компонент: $H_1 = H_{1\tau} + H_{1L}$, где $H_{1\tau}$ — ценность продукции в условиях модернизации, а H_{1L} — надбавка к стоимости, связанная с затратами на модернизацию производства.

При этом $H_{1L} = L_1 dI_1/dt$, где L_1 — инертность подсистемы производства, т.е. квадрат технологически предопределенного времени на модернизацию, отнесенный к рублевой стоимости бита.

Точно также H_2 представляет потребительную стоимость товара; I_2 — рублевая интенсивность потребления товаров; τ_2 — сопротивление потреблению; n_2 — емкость подсистемы потребления, т.е. рублевая стоимость одного бита в этой подсистеме.

В переходном режиме $H_2 = H_{2\tau} + H_{2L}$, причем $H_{2L} = L_2 dI_2/dt$, где L_2 — инертность подсистемы продаж, т.е. квадрат времени изменения I_2 на единицу H_{2L} .

Соответственно, H_3 — выраженная в битах ценность эмитируемых денег; I_3 — интенсивность кредитования и рублевой эмиссии; τ_3 — время потребления одного бита рублевой массы; n_3 — емкость подсистемы потребления денег, т.е. рублевая стоимость единицы (1 бит) ценности денег в этой подсистеме; наконец L_3 — инертность кредитной подсистемы, т.е. квадрат времени изменения I_3 на единицу H_{3L} , где $H_3 = H_{3\tau} + H_{3L}$, а $H_{3L} = L_3 dI_3/dt$.

Потенциал H_4 налоговой подсистемы изъятия денег из оборота представляет ценность денег в момент изъятия; I_4 — налоговый оборот; τ_4 — время изъятия из оборота одного бита денежной массы

в расчете на рубль; n_4 — емкость подсистемы налогов, т.е. рублевая стоимость одного бита налогов; L_4 — инертность налогообложения, т.е. квадрат времени изменения ставки налогообложения на единицу бит/руб, где $H_4 = H_{4\tau} + H_{4L}$, а $H_{4L} = L_4 dI_4/dt$.

Наконец, потенциал H_5 последней подсистемы товарно-денежного обмена представляет ценность единицы накоплений; I_5 — интенсивность расхода или пополнения стабилизационного фонда соответственно при дефиците или профиците бюджета; τ_5 — время изменения фонда на единицу бит/руб; n_5 — емкость стабилизационного фонда, т.е. рублевая стоимость одного бита хранения; наконец, L_5 — квадрат времени изменения I_5 в расчете на руб/бит при манипуляциях с бюджетным дефицитом (профицитом).

Поскольку при этом каждая из пяти подсистем, изображенных на рис. 7.7, описывается дифференциальным уравнением второго порядка (7.11а) с соответствующими номеру подсистемы индексами параметров и переменных, то система уравнений (7.18) и (7.19) представляет функциональную математическую модель изолированной макроэкономики, пригодную для компьютерного исследования любых режимов экономики, включая кризисные.

Прямое аналитическое решение такой системы относительно оборотов в переходных режимах представляется затруднительным, поскольку соответствующее дифференциальное уравнение имеет десятый порядок. Однако это возможно для установившегося режима, что само по себе позволяет сделать ряд важных выводов.

Рассмотрим установившийся режим изолированной экономической системы, пренебрегая бартером, чтобы избежать чрезмерную громоздких описаний элементов оборота, тем более, что в обычных условиях бартер существенной роли не играет и к тому же как средство уклонения от налогов подвергается гонениям со стороны финансовых и правоохранительных органов.

Из (7.18) и (7.19) для установившегося режима получим

$$I = H[(\tau_1 + \tau_3)(\tau_2 + \tau_4) + (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4)\tau_5] / Z; \quad (7.20a)$$

$$I_1 = H[\tau_3(\tau_2 + \tau_4) + (\tau_3 + \tau_4)\tau_5] / Z; \quad (7.20б)$$

$$I_2 = H[\tau_4(\tau_1 + \tau_3) + (\tau_3 + \tau_4)\tau_5] / Z; \quad (7.20в)$$

$$I_3 = H[\tau_5(\tau_1 + \tau_2) + \tau_1(\tau_2 + \tau_4)] / Z; \quad (7.20г)$$

$$I_4 = H[\tau_5(\tau_1 + \tau_2) + \tau_2(\tau_1 + \tau_3)] / Z; \quad (7.20д)$$

$$I_5 = H(\tau_3\tau_2 - \tau_4\tau_1) / Z, \quad (7.20е)$$

где

$$Z = (\tau_1 + \tau_2)(\tau_3\tau_4 + \tau_3\tau_5 + \tau_4\tau_5) + (\tau_1 + \tau_2)(\tau_3 + \tau_4) \quad (7.20ж)$$

Сравнивая (7.20а) и (7.6), приходим к выводу, что τ в обобщенной модели (см. рис. 7.3) выражается через параметры развернутой модели более низкого уровня обобщения как

$$\tau = Z / [(\tau_1 + \tau_3)(\tau_2 + \tau_4) + (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4)\tau_5]$$

А поскольку при $dl/dt = \infty$ всю нагрузку берет на себя инертность L системы, то в этом случае она структурно как бы замещает собой τ , так что

$$L = [(L_1 + L_2)(L_3L_4 + L_3L_5 + L_4L_5) + (L_1 + L_2)(L_3 + L_4)] \\ [(L_1 + L_3)(L_2 + L_4) + (L_1 + L_2 + L_3 + L_4)L_5]$$

И поскольку $H_n = H_\tau$, то структура n совпадает со структурой $1/\tau$, так что

$$n = [(1/n_1 + 1/n_3)(1/n_2 + 1/n_4) + (1/n_1 + 1/n_2 + \\ + 1/n_3 + 1/n_4)/n_5] / [(1/n_1 + 1/n_2)(1/n_3n_4 + 1/n_3n_5 + 1/n_4n_5) + \\ + (1/n_1 + 1/n_2)(1/n_3 + 1/n_4)]$$

Сбалансированная, т.е. устойчивая экономика, подразумевает, во-первых, что в единицу времени потребляется столько же товаров, сколько их производится, т.е. $I_1 = I_2$. Во-вторых, что доходы бюджета равны расходам, т.е. $I_3 = I_4$, откуда следует, что $I_5 = 0$.

В-третьих, что платежеспособный спрос (потребительная стоимость) H_2 равен предложению (меновой стоимости) H_1 .

В-четвертых, что меновая стоимость H_3 расходов бюджета равна потребительной стоимости H_4 его доходов, т.е. рубль, выплаченный из бюджета, равен рублю собираемых налогов.

Это значит, что $\tau_1 = \tau_2$, а $\tau_3 = \tau_4$.

Тогда $I_1 = I_2 = H / (\tau_1 + \tau_2)$, а $I_3 = I_4 = H / (\tau_3 + \tau_4)$.

При этом $H_3 = H_4 = H_1 = H_2 = H / 2$, а товарный I_1 и денежный I_3 обороты не зависят друг от друга, что позволяет пропорционально изменять доходы и расходы бюджета или спрос и предложение, не нарушая экономическое равновесие, ибо при этих условиях все равно верхняя и нижняя половины схемы на рис. 7.8 обеспечивают по половине эффективности (потенциала) H экономики каждая.

Так, повышая налоги I_4 , государство получает возможность пропорционально увеличить зарплаты бюджетников и финансирование $I_3 = I_4$ социально значимых и государственного значения мероприятий (включая оборону) с сохранением прежнего товарного оборота I_1 , а принудительно снижая меновую стоимость H_1 товаров за счет ограничения прибавочной стоимости и пропорционально ограничивая спрос H_2 за счет регулирования цены «роскоши», можно увеличить товарооборот $I_1 = I_2$ без увеличения находящейся в обороте денежной массы.

Таким образом, правительство может покрывать свои расходы на военные операции и на возмещение ущерба от стихийных бедствий без ощутимого изменения ситуации на рынке товаров и услуг.

Подчеркнем особо, что только в сбалансированной экономике меновая стоимость денег бюджетных расходов равна меновой стоимости товара и обе они равны потребительной стоимости денег бюджетных доходов (спросу на деньги) и покупательского спроса на товары и услуги (потребительной их стоимости).

В несбалансированной экономике все они могут отличаться друг от друга и с этой точки зрения возможны восемь качественно различных состояний экономики.

1. Частичный разбаланс, когда $I_5 = 0$, но $H_3 = H_1 < H_2 = H_4$.

Тогда, во-первых, цена кредита (заемных денег) H_3 меньше цены возврата H_4 долга, что позволяет кредиторам выдавать кредиты под низкий процент и даже беспроцентно. Во-вторых, хотя имеет место относительный товарный дефицит, поскольку меновая стоимость H_1 товаров ниже платежеспособного спроса H_2 населения, но и цена покупаемого товаропроизводителями сырья выше цены их продукции, что удерживает кредитополучателей от рас-

ширения производства товаров, так что на фондовом рынке спрос превышает предложение.

Велик соблазн своего рода денежного бартера, когда дешевые заемные деньги идут непосредственно в уплату налогов, вместо производства.

2. Профицит бюджета, когда $I_5 \neq 0$, но $H_3 > H_1$, $H_4 < H_2$, $H_3 < H_4$, $H_1 < H_2$. Эти условия отличаются от предыдущих только более низким процентом на кредит, поскольку возврат долга выгоден кредитору в еще большей степени, и появлением инфляции, т.е. бегством потребителей от денег, потребительная стоимость которых стала ниже потребительной стоимости товаров. Усугубляется фондовый дефицит (акции растут в цене).

3. Профицит бюджета, когда $I_5 \neq 0$, но $H_3 > H_1$, $H_4 < H_2$, $H_3 > H_4$, $H_1 < H_2$. Теперь кредитный процент достаточно высок из-за инфляционного обесценения возвращаемого долга H_4 по сравнению с H_3 . Да и кредиторы не активны, поскольку, хотя товарный дефицит стоит уже не столь остро, цена сырья все еще выше цены их продукции.

4. Профицит бюджета, когда $I_5 \neq 0$, но $H_3 > H_1$, $H_4 < H_2$, $H_3 > H_4$, $H_1 > H_2$. Здесь имеет место самый высокий кредитный процент из-за сильнейшего инфляционного обесценивания возвращаемых H_4 денег по сравнению с заемными H_3 . Зато имеет место оживление производства, поскольку дороговизна H_1 товаров превосходит их потребительную H_2 стоимость (спрос). И хотя кредиты дороги, но и цены на сырье ниже цен на готовую продукцию.

5. Частичный разбаланс, когда $I_5 = 0$, но $H_3 = H_1 > H_2 = H_4$. Несмотря на дорогой кредит на фоне низкого спроса на товары, царит равновесие как на фондовом рынке, так и на товарном, где цены и товары равноценны (стагнация).

6. Дефицит бюджета, когда $I_5 \neq 0$, но $H_3 < H_1$, $H_4 > H_2$, $H_3 > H_4$, $H_1 > H_2$. С кредитами дела обстоят почти так же плохо как в предыдущем случае, зато потребители склонны к накоплению денег из-за того, что они дороже товаров (дефляция). В производстве оживление, поскольку готовая продукция дороже сырья.

7. Дефицит бюджета, когда $I_5 \neq 0$, но $H_3 < H_1$, $H_4 > H_2$, $H_3 < H_4$, $H_1 > H_2$. Низкий банковский процент и относительная дешевизна сырья способствуют росту деловой активности. Растут денежные накопления из-за бегства от дешевых товаров к дорогим деньгам.

8. Дефицит бюджета, когда $I_5 \neq 0$, но $H_3 < H_1$, $H_4 > H_2$, $H_3 < H_4$, $H_1 < H_2$. Имеет место весьма низкий банковский процент (дешевый кредит) и высокий спрос на товары и услуги, включая сырье, что порождает невысокую деловую активность. Имеет место дефляция и денежное накопительство у потенциальных покупателей.

Велик соблазн денежного бартера, т.е. уплаты налогов не с доходов, а из заемных денег.

Таким образом, в условиях 1, 2 и 8 относительная дешевизна кредитов компенсируется относительной дороговизной сырья, а в условиях 4, 5 и 6 относительная дороговизна кредитов компенсируется относительной дешевизной сырья.

Условия 3 предельно неблагоприятны для экономики из-за дороговизны, как кредитов, так и сырья на фоне инфляции, т.е. бегства покупателей от денег, и розничного дефицита.

Условия 7 наиболее благоприятны из-за дешевизны как кредитов, так и сырья на фоне дефляции, т.е. бегства покупателей от товаров к деньгам (накопительство и относительное перепроизводство).

Выходит, что по части создания как благоприятных, так и неблагоприятных экономических условий дефицит и профицит бюджета совершенно равноправны, ибо в любом случае только дешевые кредиты наряду с товарным дефицитом создают экономический рост.

С другой стороны, при профиците бюджета всегда меновая стоимость денег больше меновой стоимости товаров, а потребительная стоимость товаров больше потребительной стоимости денег, т.е. царит инфляция.

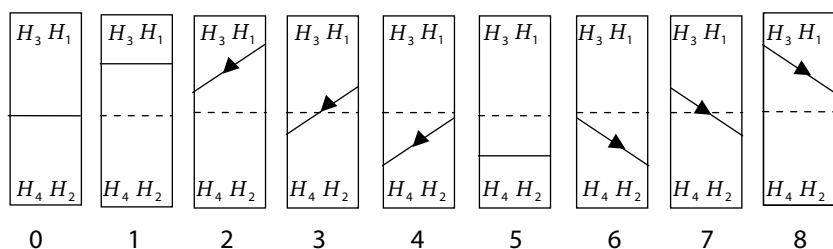
Следовательно, предпринимателям выгоднее заниматься финансовыми манипуляциями, нежели производством товаров, а потребителям выгоднее приобретать товары, нежели хранить деньги (относительный товарный дефицит).

При дефиците бюджета все наоборот, поэтому кредиторам деньги выгодно вкладывать в производство, а потребителям выгоднее копить деньги вместо приобретения товаров (относительное перепроизводство товаров).

Но в любом случае профицитный бюджет является причиной инфляции, серьезная борьба с которой возможна только за счет снижения профицита, что, правда, чревато ростом дороговизны товаров и денежным накопительством в среде потребителей (бегство от товаров).

С этой точки зрения промежуточное сбалансированное состояние экономики с нулевым индексом «0» представляет умеренно доходное, зато спокойное, существование без инфляции и дефляции, товарного, фондового и кредитного дефицитов, которое, правда, представляется застойным болотом для биржевых игроков и всякого рода финансовых авантюристов.

Проиллюстрируем для наглядности перечисленные варианты состояний экономики нижеследующими диаграммами. Сбалансированное состояние экономики показано на диаграмме 0.



Здесь H_3 и H_4 — меновая и потребительная стоимости денег, а H_1 и H_2 — меновая и потребительная стоимости товаров. Причем H_3 — стоимость денег, предоставляемых в кредит, а H_4 — стоимость денег, возвращаемых кредитору. Соответственно H_1 — стоимость произведенных товаров, а H_2 — стоимость потребляемых товаров (сырья).

При профиците бюджета направление стрелки справа налево означает преобладание бегства от акций (низкий их курс) на фондовом рынке над бегством от денег (инфляция) на товарном рынке. А при дефицитном бюджете направление стрелки слева направо означает преобладание фондового дефицита (высокий курс акций) на фондовом рынке над денежным дефицитом (рост стоимости денег) на товарном рынке.

Макроэкономическая модель национальной экономики в системе мировой экономики

Учитывая универсальность модели национальной экономики, естественно принять, что и мировая экономика сама по себе описывается той же системой уравнений (7.18) и (7.19), что и нацио-

нальная экономика, хотя и с другими значениями всех коэффициентов этих уравнений, а ее структура совершенно подобна структуре национальной экономики на рис. 7.8.

В этом случае для описания совместного функционирования национальной и мировой экономик достаточно, во-первых, выписать две системы уравнений (7.18) и (7.19), но в той, что принадлежит мировой экономике, все переменные и коэффициенты снабдить индексом «М».

Во-вторых, эти две системы следует состыковать посредством уравнений трансграничного оборота товаров, денег и прямых инвестиций, снабдив их всех отдельными индексами.

В результате без учета бартера получим

$$I + I_7 = I_1 + I_3; \quad I_M - I_{M7} = I_{M1} + I_{M3}; \quad I_2 = I_1 + I_5 + I_8;$$

$$I_{M2} = I_{M1} + I_{M5} - I_8; \quad I_4 + I_5 = I_3 + I_6; \quad I_{M3} = I_{M4} + I_{M5} + I_6;$$

$$I + I_M = I_2 + I_{M2} + I_4 + I_{M4};$$

$$\begin{aligned} H &= H_1 + H_2 = H_3 + H_4 = H_{M3} + H_{M4} - H_7 = \\ &= H_{M1} + H_{M2} - H_7 = H_M - H_7; \quad H_1 = H_3 + H_5; \end{aligned}$$

$$H_4 = H_2 + H_5; \quad H_{M1} = H_{M3} + H_{M5}; \quad H_3 + H_7 = H_{M3} + H_6;$$

$$H_{M4} = H_4 + H_6; \quad H_5 + H_6 = H_{M5} + H_8, \quad (7.21)$$

где все H_k связаны с I_k посредством (7.11а) с соответствующими индексами.

Таким образом, (7.21) представляет пригодную для компьютерного исполнения универсальную математическую модель национальной экономики в системе мировой экономики в форме системы дифференциальных уравнений 2-го порядка каждое, т.е. в форме одного дифференциального уравнения 26-го порядка.

Этой модели соответствует символическая цепная схема на рис. 7.9, где слева — национальная экономика (см. рис. 7.8), а справа — аналогичная по структуре мировая экономика, связанные посередине оборотами товаров, денег и инвестиций.

На этой модели можно помимо товарно-денежных взаимосвязанных оборотов национальной и мировой экономик, дефицита и профицита их финансов (H_5, H_{M5}) изучать также внешнеторговое сальдо (H_6, H_8), «утечку мозгов» и бегство капиталов (H_7).

Соответствующие параметры этих подсистем означают: H_6 — таможенный сбор с цены товара, I_6 — трансграничный оборот денег для приобретения товаров; τ_6 — время таможенного контроля каждого бит/руб; n_6 — рублевый таможенный сбор с каждого бита денег; L_6 — дополнительный таможенный сбор с единицы прироста оборота I_6 ; H_7 — налог на кредиты и трансфертные операции с деньгами; I_7 — трансграничный оборот кредитных (инвестиционных) денег; τ_7 — время обслуживания трансфертных операций в расчете на каждый бит/руб; n_7 — рублевый таможенный сбор с каждого бита денег; L_7 — дополнительные расходы на каждую единицу роста I_7 ; H_8 — налог (в битах) на экспортно-им-

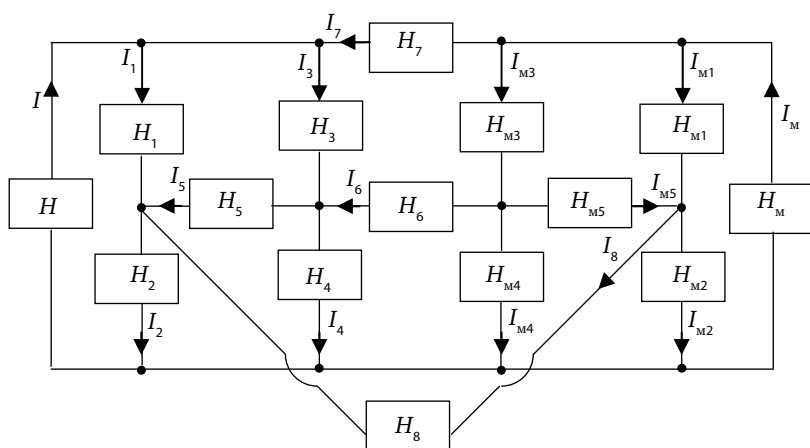


Рис. 7.9

портные операции; I_8 — транспортный оборот товаров (в руб/с); τ_8 — время таможенного оформления каждого бит/руб; n_8 — рублевый таможенный сбор с каждого бита товара; L_8 — квадрат времени таможенного оформления каждого бит/руб незнакомого (нового) товара.

Хотя эта модель позволяет получить аналитические выражения для всех оборотов в установившемся режиме, мы не станем их выписывать ввиду их чрезмерной громоздкости. Но некоторые очевидные выводы все же можно сделать.

Так, если национальная экономика хорошо сбалансирована, т.е. $I_5 = 0$, то межграницный товарный оборот I_8 нарушит этот баланс, так как I_8 частично пойдет по цепи I_5 в цепь I_4 .

Внешнеторговый баланс определяется разницей потребительных стоимостей денег в мировой и национальной экономиках, так что $I_6 = (H_{M4} - H_4)/\tau_6 = 0$, если $H_4 = H_{M4}$.

Трансграничный оборот I_7 валюты определяется разницей ее меновых стоимостей в мировой и национальной экономиках, так что $I_7 = (H_{M3} - H_3)/\tau_7 = 0$, если $H_3 = H_{M3}$.

Но тот же валютный оборот можно выразить и просто через разницу потенциалов мировой H_M и национальной H экономик, так что $I_7 = (H_M - H)/\tau_7$.

Соответственно оборот I_6 трансграничного потребления денег, приобретенных за рубежом, определяется разностью спроса на них с учетом таможенных пошлин на трансферты, так что $I_6 = (H_{M2} + H_{M5} - H_2 - H_5)/\tau_6 = 0$, если $H_{M2} + H_{M5} = H_2 + H_5$.

Наконец, экспорт-импорт товаров вызывается разностью их потребительных стоимостей H_{M2} и H_2 с учетом таможенных пошлин H_8 , так что $I_8 = (H_2 + H_8 - H_{M2})/\tau_8$.

Такие оценки, хотя и наглядны, но, во-первых, не учитывают динамику процессов, а во-вторых, конкретную величину таможенных и транспортных расходов, которые могут исказить диаграмму сопоставления экономик до полной противоположности с исходным положением дел в соответствии с русской поговоркой: «За морем телушка — полушка, да рубль — перевоз».

Поэтому только полноценная компьютерная (математическая) модель позволяет не только учесть все нюансы конкретной ситуации, но и делать обоснованные прогнозы.

7.3. Мидиэкономическое моделирование

Под мидиэкономическими моделями мы понимаем модели функциональных и отраслевых подсистем, специфика которых выходит за рамки общесистемных проблем и углубляется в сферу проблем еще не микроэкономических (конкретные производственные и торговые предприятия), но уже и не макроэкономических (общих для любых мидиэкономических моделей).

Так, если проблемы оборота услуг, товаров и денег (сбалансированность, дефицитность или профицитность, торговое сальдо, государственный долг и т.п.) определяются взаимодействием всех подсистем и поэтому являются сугубо макроэкономическими, то специфика производства (производительность труда, фондоотдача, формирование стоимости продукции и т.п.), с одной стороны, и специфика потребления (уровень жизни, прожиточный минимум и т.п.), с другой, присущи только этим подсистемам и являются мидиэкономическими, поскольку все же представляют предельную степень обобщения (усреднения) той же, но микроэкономической специфики конкретных производств и потребителей.

Все это относится не только к функциональной, но и к отраслевой страте, где, например, межотраслевое взаимодействие (эластичность и т.п.) не имеет отношения к макроэкономике.

Все же одной из важнейших задач мидиэкономических моделей является на базе собственных параметров формирование параметров развернутой макроэкономической модели (см. рис. 7.8) более высокого уровня обобщения.

Подсистема производства

Модели функциональной страты предприятия

Рассмотрим подробнее процессы, происходящие в блоке 1 на рис. 7.8.

Отметим прежде всего, что поскольку согласно (7.20б) производительность I_1 блоков определяется всей совокупностью параметров макроэкономической модели, то увеличение производительности I_1 производственной сферы автономными усилиями самой этой сферы возможно лишь до предельного значения, соответствующего (7.20а) при $\tau_1 = 0$ (рис. 7.10).

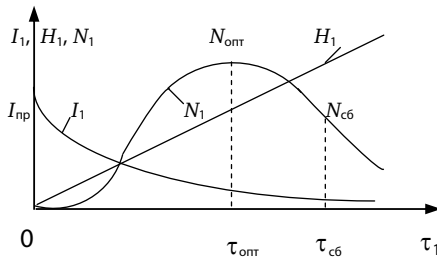


Рис. 7.10

Из рис. 7.10 также следует, что по мере снижения оборота I_1 меновая стоимость $H_1 = I_1 \tau_1$ продукции все время нарастает, так что максимум производственной мощности $N_1 = I_1 H_1$ приходится на

$$\tau_{1\text{опт}} = \frac{\tau_2(\tau_3\tau_4 + \tau_3\tau_5 + \tau_4\tau_5)}{\tau_2(\tau_3 + \tau_4) + \tau_3\tau_4 + \tau_3\tau_5 + \tau_4\tau_5} < \tau_2, \quad (7.22)$$

где обеспечивается максимальная доходность производства. Но поскольку в сбалансированной экономике $\tau_{2\text{сб}} = \tau_{1\text{сб}}$, то $\tau_{1\text{опт}} < \tau_{1\text{сб}}$, т.е. производители товаров всегда заинтересованы в нарушении экономического баланса в сторону $N_{1\text{опт}} < N_{\text{сб}}$ за счет уменьшения $\tau_{1\text{сб}}$ до $\tau_{1\text{опт}}$.

Если им это удастся, а в сфере потребления и в финансовой сфере ничего не изменилось, то экономика становится профицитной со всеми вытекающими ранее описанными последствиями, включая инфляцию и бегство инвестиций за рубеж, поскольку в этих условиях $H_1 < H_2$.

Стоимость (меновая) складывается из себестоимости и прибавочной стоимости. Первая выражается суммой стоимостей сырья, комплектующих и всех видов физического и умственного труда, т.е. суммой стоимостей ресурсов, вложенных в товар. Вторая имеет чисто рыночное происхождение и напрямую не связана с себестоимостью. Она представляет торговую надбавку к себестоимости, которую (надбавку) владельцам товара (они же владельцы производства) удастся отстоять в борьбе с потребителями.

Эти стоимости выражаются через калиброванные затраты времени (сопротивление обороту):

$$\tau_1 = \tau_c + \tau_{\text{пр}}, \quad (7.23)$$

где реальный смысл трудозатрат имеет только τ_c .

Никакого занижения τ_c в пользу $\tau_{пр}$ (на чем настаивал К. Маркс) реально быть не может, ибо тогда рабочие просто вымрут. Поэтому реально капиталисты завышают τ_1 за счет $\tau_{пр}$, не затрагивая τ_c , а социальная несправедливость капитализма состоит не в недоплате за труд, а в том, что большая часть $\tau_{пр}$ увеличивает капитал собственника вместо увеличения зарплаты рабочих сверх оплаты их прямых затрат труда.

При этом

$$H'_1 = I_1 \tau_1 = I_1 \tau_c + I_1 \tau_{пр} = H_{1c} + H_{1пр}, \quad (7.24)$$

где стоимость товара складывается из себестоимости H'_1 (в битах) и прибавочной стоимости $H_{1пр}$.

В действительности забастовками и стачками рабочие все же добиваются того, что часть $\Delta \tau_p$ рыночного дохода τ_p достается рабочим, так что

$$H'_1 = H_{1c} + \Delta H_{1р} + H_{1пр}, \quad (7.25)$$

где $H_{1пр} + \Delta H_{1р} = H_p$ представляет рыночный доход, $H_3 = H_{1c} + \Delta H_{1р}$ — представляет реальную зарплату, а $\Delta H_{1р}$ является объектом классовой борьбы.

Поэтому более высокая зарплата западного рабочего по сравнению с российской зарплатой при прочих равных условиях означает более высокий уровень социальной справедливости западного капитализма по сравнению с российским.

Вместе с тем $H'_1 = J_1/n_1$, где J_1 — ресурсы (в рублях), потраченные на единицу стоимости товара (в битах), а n_1 — ресурсоемкость товара (руб / бит). Поэтому прибавочная стоимость завышает реальную рублевую стоимость ресурсов и занижает рублевую стоимость бита продукции по сравнению с реальными значениями.

В переходном режиме, например, при освоении новой продукции, к H'_1 добавляется еще $H_{L1} = I_1 dI_1/dt$, где H_{L1} — негибкость производства, так что $H_1 = H'_1 + H_{L1}$.

В статике $H_1 = H'_1$, а L_1 — содержит запас инерции (в бит · руб)

$$C_L = LI^2/2, \quad (7.26)$$

который является ценой предстоящей модернизации.

Моделирование потребления

Теперь обратимся к подсистеме потребления 2 на рис. 7.8, которая в определенной мере является зеркальным (перевернутым) отражением подсистемы производства 1.

Здесь так же, как и в системе производства, оптимальным является максимум мощности потребления $N_2 = I_2^2 \tau_2$ при $dN/d\tau_2 = 0$, чему соответствует $\tau_2 = \tau_{2\text{опт}}$, как на рис. 7.10, если на нем поменять индексы с 1 на 2, причем $N_{\text{опт}}$ должна быть больше мощности прожиточного минимума, диктуемого условиями физического выживания.

Соответственно средняя оптимальная цена продуктов потребления составит $H_{2\text{опт}} = \tau_{2\text{опт}} I_{2\text{опт}}$, и месячная калорийность (в руб. · бит) оптимальной потребительской корзины составляет $C_{2\text{опт}} = \int_0^{t_y} N_{\text{опт}} dt$, где $t_y = 1$ мес.

Вообще же если разделить N и C на численность потребителей, то получим мощность, т.е. расход энергии в единицу времени, и месячную энергию потребительской корзины в расчете на душу населения.

Модель потребления аналогична модели производства, только в роли ресурсов выступают потребляемые свойства. Так, пищевые продукты вроде хлеба, колбасы, молока, овощей и т.д. рассматриваются как синтез не только таких непосредственно потребляемых свойств как белки, жиры, углеводы, микроэлементы, витамины и т.д., но и труда, образовавшего вкусовые качества товара.

Сам процесс потребления помимо непосредственной пользы от усвояемых элементов сопровождается удовольствием, эквивалентным затратам труда при производстве продукта потребления (вкусовое и эстетическое наслаждение при потреблении продукта питания или художественного произведения, соответственно). И если первые формируют тело, то последнее — душу потребителя.

Несмотря на то что в полностью сбалансированной экономике $I_2 = I_1$, $H_2 = H_1$, $\tau_2 = \tau_1$, соотношение между себестоимостью производства и потребления в составе стоимости может быть различным, поскольку подобно (7.23) из $\tau_1 = \tau_2 = \tau_{c1} + \tau_{пр1} = \tau_{c2} + \tau_{пр2}$ не следует $\tau_{c1} = \tau_{c2}$ и $\tau_{пр1} = \tau_{пр2}$.

Поэтому прибавочная стоимость, выплачиваемая потребителем сверх реальной полезности товара, может быть как больше, так и меньше производственной прибавочной стоимости.

Так, например, в колбасе калорийность белков, жиров, углеводов и прочих ингредиентов для производства колбасы имеет второстепенное значение по сравнению со вкусом и эстетической привлекательностью (товарными свойствами) колбасы, а для потребления калорийность этих продуктов имеет решающее значение в деле поддержания жизни, в то время как эстетика и вкус в этом деле явно второстепенны, хотя и играют определенную роль.

А в эпатажных произведениях вроде квадрата Малевича эта эпатажность или даже скандальность будит воображение и поэтому, безусловно, превосходит эстетику темного предмета на светлом фоне, или наоборот, так что составные элементы здесь практически не играют роли.

Все это тем более имеет место в несбалансированной системе.

Из (7.10) вытекает также, что $n_2 = J_2 / H_2$, $\tau_2 = H_2 / J_2$, $H_{L_2} = L_2 dl/dt$, где n_2 — калиброванная ресурсоемкость потребления; τ_2 — калиброванное время потребления единицы стоимости потребления; L_2 — инертность потребления.

Моделирование бюджетных расходов

Перейдем теперь к финансовой сфере.

На рис. 7.7 блок 3 символизирует подсистему бюджетных расходов, блок 4 — доходную часть бюджета, а блок 5 — модель подсистемы накопления (резервирования).

В этой сфере имеют место те же явления, что рассматривались в системах производства и потребления, иллюстрируемые рис. 7.9 и отображаемые соотношением (7.23), но для I_3, H_3, N_3 и τ_3 , причем максимум инвестиционной мощности $N_3 = I_3 H_3$ приходится на

$$\tau_{3\text{опт}} = \tau_4 (\tau_1 \tau_2 + \tau_1 \tau_5 + \tau_2 \tau_5) / [\tau_1 \tau_2 + \tau_1 \tau_5 + \tau_2 \tau_5 + \tau_4 (\tau_1 + \tau_2)] < \tau_4. \quad (7.28)$$

Но поскольку в сбалансированной экономике $\tau_{4\text{сб}} = \tau_{3\text{сб}}$, то $\tau_{\text{опт}} < \tau_{3\text{сб}}$, что заставляет кредиторов разбалансировать экономику от $N_{\text{сб}}$ к $N_{\text{опт}}$, снижая $\tau_{3\text{сб}}$ до $\tau_{\text{опт}}$, что приводит к $H_3 < H_4$ и дефициту бюджета со всеми ранее отмеченными его последствиями, включая приток иностранных инвестиций и относительное перепро-

изводство товаров за счет стремления потребителей к накоплению денег.

В блоке 3 применительно к расходам (7.23) $H_3 = I_3 \tau_3$ — меновая стоимость денег в битах, $H_3 = H_o + H_k$, где H_k — прибавочная цена денег (кредитная ставка), а H_o — собственная (номинальная) стоимость денег, так что мощность бюджетных расходов составляет

$$N_3 = H_3 I_3 = \tau_3 I_3^2, \quad (7.27a)$$

притом, что мощность номинального оборота кредитных денег

$$N_o = H_o I_3, \quad (7.27б)$$

а прибавочная их мощность

$$N_k = H_k I_3, \quad (7.27 в)$$

что соответствует кредитной ставке.

В результате N_{3n} формально превышает номинальную мощность N_o , например, кредитов на величину N_k , так что кредитор обратно фактически получает $N_n + N_n$, хотя реально предоставил займы N_o , поэтому N_k / N_3 представляет кредитную ставку, т.е. банковский процент на кредит.

При всем том профицитность бюджета, увеличивая прибавочную стоимость заемных денег на $H_5 = I_5 \tau_5$, соответственно увеличивает кредитную ставку, а дефицитность бюджета, уменьшая стоимость денег на H_5 , уменьшает и кредитную ставку.

Моделирование бюджетных доходов

Если обратиться к подсистеме бюджетных доходов (блок 4 на рис. 7.7), то получим почти аналогичную картину: деньги, поступающие из бюджета в полностью сбалансированной экономике, имеют ту же цену (меновая стоимость денег), что и деньги, возвращаемые в бюджет (потребительная стоимость денег).

Однако если экономика разбалансирована в пользу производства (кредитополучателя), чему соответствуют приведенные выше диаграммы 3, 4, 5, 6, то цена бюджетных денег (в том числе кредита) оказывается больше цены бюджетных поступлений, что завышает кредитную ставку, а в экономике, разбалансированной в пользу кредитора (диаграммы 1, 2, 7, 8), наоборот, кредитор получает более дорогие деньги, чем давал, что позволяет снижать кредитную ставку.

Тем не менее применительно к доходной части бюджета справедливы те же формулы, которые применялись к расходной его части с заменой перечня расходов на перечень доходов (налоговых статей и т.п.).

А вообще-то, структура финансов воспроизводит структуру системы производство — потребление, ибо стоимость кредита в сбалансированной экономике равна меновой стоимости продуктов производства, а стоимость возвращаемого кредита — потребительной стоимости товаров. Поэтому заемщик, получая кредит в размере себестоимости своего производства, понимает, что за счет кредитной ставки возвращать ему придется и прибавочную стоимость своего продукта.

Моделирование накоплений

Что касается подсистемы накоплений (блок 5 на рис. 7.8), то калиброванная стоимость (в бит · руб) N_5 запасов J_5 составляет $C_5 = J_5^2 / n_5$, где n_5 — рублевая стоимость бита хранения.

Соответственно мощность дефицита-профицита $N_5 = J_5^2 \tau_5$, а $H_5 = I_5 \tau_5 = J_5 / n_5$, где H_5 — количество бит хранения.

При этом затраты N_5 на обслуживание запасов сами по себе подразумевают профицит бюджета на покрытие обслуживания.

Этот стационарный разбаланс бюджета не приводит ни к росту, ни к убыли стабилизационного фонда, поскольку I_5 замыкается либо через подсистему производства, минуя подсистему потребления при бюджетном профиците, либо через подсистему потребления, минуя подсистему производства при бюджетном дефиците, вызванном выплатой процента от государственного долга, что не изменяет H_5 , а следовательно, и $J_5 = n_5 H_5$.

Рост хранимых рублевых запасов возможен либо при росте профицита, т.е. при нарастающем дисбалансе экономических процессов, либо при увеличении n_5

Хотя с тем же основанием можно утверждать, что именно профицит или дефицит бюджета и создают дисбаланс экономики на $H_3 - H_4 = H_1 - H_2 \pm 2H_5$, что при равенстве меновой и потребительской стоимостей товаров, т.е. рыночного спроса и предложения, приводит к $H_3 - H_4 = \pm 2H_5$.

Подсистема накопления является эффективным средством непосредственного управления экономикой, поскольку от τ_5 зависит не только объем накоплений, но и параметры всех остальных подсистем.

Так при $\tau_5 \rightarrow \infty$ во всех подсистемах $\tau_{\text{опт}}$ сближается с $\tau_{\text{сб}}$, а $N_{\text{опт}}$ с $N_{\text{сб}}$, сглаживая разбаланс экономики. При $\tau_5 \rightarrow 0$ во всех подсистемах $N_{\text{опт}}$ и $N_{\text{сб}}$ максимально расходятся, усугубляя как дефицит, так и профицит. В первом случае накопления наиболее весомы, ибо не расходуются, во втором — их вообще нет, ибо они сразу идут в оборот.

Максимальная мощность как профицита, так и дефицита достигается при $\tau_{5\text{опт}} = [\tau_1\tau_2(\tau_3 + \tau_4) + (\tau_1 + \tau_2)\tau_3\tau_4]/(\tau_1 + \tau_2)(\tau_3 + \tau_4)$, а максимальные накопления или государственный долг (в зависимости от знака J) достигаются при $\tau \rightarrow \infty$ и составляют $J_{5\text{max}} = H_5 n_5 (\tau_3\tau_2 - \tau_4\tau_1)/(\tau_1 + \tau_2)(\tau_3 + \tau_4)$, причем при профиците $\tau_2\tau_3 > \tau_4\tau_1$, а при дефиците — наоборот.

Будем исходить из того, что модель каждой отдельно взятой отрасли структурно совпадает с моделью всей экономики (см. рис. 7.7), отличаясь от нее только значениями соответствующих параметров. Однако, поскольку отрасли взаимодействуют друг с другом, то для каждой их пары справедлива структура взаимодействия национальной и мировой экономик (рис. 7.8) с системой уравнений (7.21) при соответствующих переобозначениях параметров.

Но вначале рассмотрим применительно к отраслям модель глобального обобщения на основе (7.11е) и (7.11ж), где вместо мировой экономики появится m отраслевых экономик, так что $I = \sum_{k=1}^m I_k$,

где I_k — выпуск продукции k -й отраслью, I_{kk} — потребление k -й

**Межотраслевая
мидиэкономическая модель**

отраслью продукции всех отраслей, включая собственную, I_{ki} — потребление k -й отраслью продукции i -ой отрасли, I_{ik} — потребление i -й отраслью продукции k -й отрасли.

При этом процесс взаимодействия отраслей описывается моделью (7.11ж) подобно рис. 7.6, где, однако, все n , τ и L становятся собственными и взаимными в зависимости от индексов, т.е. соответственно статическими, кинетическими и динамическими эластичностями, а все $I_{Lk} = I_{kk}$, как в примере трех отраслей на рис. 7.11.

Для каждой из отраслей системы уравнений остаются прежними (7.11), только вместо I становится I_k . Зато появляется A_m^2 стыковочных узлов в духе узла на рис. 7.6, где A_m^2 — число сочетаний из m по 2, уравнение каждого из которых такое же как в (7.11ж), только вместо штрихов появляются индексы ki стыкуемых отраслей.

Отметим, что хотя только две и три отрасли укладываются в плоский рисунок, а уже для четырех и более схема становится

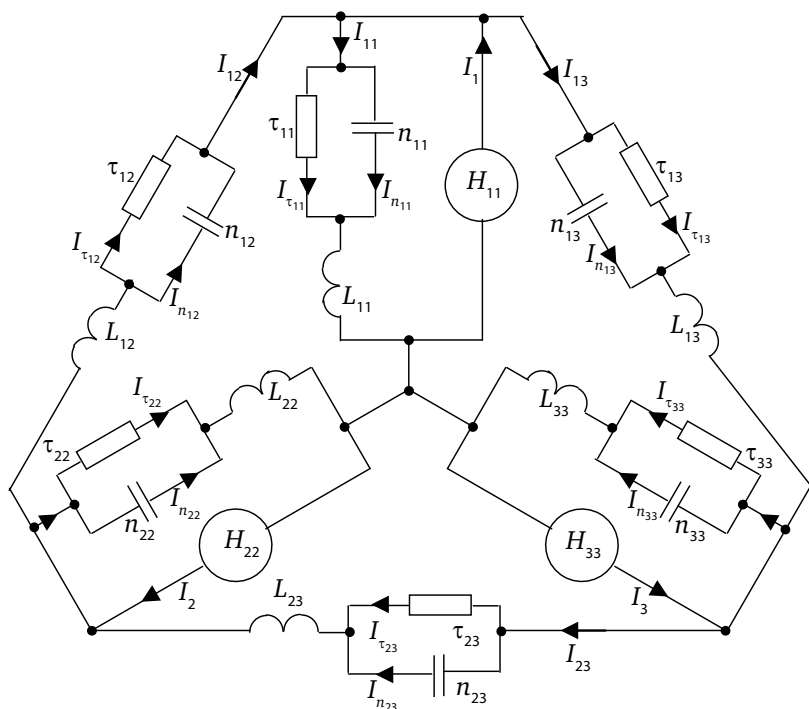


Рис. 7.11

объемной, но это никак не сказывается на структуре математической модели, увеличивая лишь число однотипных уравнений.

Эта система описывает выпуск I_k продукции k -й отрасли в зависимости от стоимости H_{kk} продукции всех отраслей, а также потребление I_{kk} продукции k -й отрасли в зависимости от стоимости собственной и чужой продукции.

Если k -я отрасль ничего не производит, а только потребляет, то в ее цепи и в системе уравнений отсутствует H_{kk} . Если же отрасль только производит, ничего не потребляя, то в ее цепи и в системе уравнений отсутствуют τ_{kk} , n_{kk} и L_k .

При этом мощность выпуска продукции всеми отраслями состав-

ляет $N = \sum_{k=1}^m I_k H_{kk} = IH = I^2 \tau$, откуда $H = \sum_{k=1}^m I_k H_{kk} / I$ и $\tau = \sum_{k=1}^m I_k H_{kk} / I^2$

Мощность собственного потребления всеми отраслями состав-

ляет $N_c = \sum_{k=1}^m I_{kk} H_{kk}$, а мощность межотраслевого оборота составляет

$N_b = \sum_{i \neq k}^{A_m^2} I_{ki} H_{ki}$, где $H_{ki} = H_{kk} - H_{ii}$, откуда собственные затраты отрас-

лей составляют $H_c = N_c / \sum_{k=1}^m I_{kk}$, а стоимость межотраслевого оборота

в совокупности составляет $H_b = N_b / \sum_{i \neq k}^{A_m^2} I_{ki}$

Все эти соотношения в зависимости от обстоятельств могут выступать в роли целевых функций при оптимизации совокупной деятельности отраслей, но всеохватывающей целевой функцией для оптимизации экономики является $N \Rightarrow \max$, а остальные наряду с другими обстоятельствами могут выступать в роли ограничений, включая минимизацию стоимости $H \Rightarrow \min$.

Однако этот уровень обобщения не позволяет учесть такие проблемы отрасли как кредитование, инвестирование, экспорт-импорт, перетоки рабочей силы и т.п.

Поэтому мы возвращаемся к более детальной модели отрасли в духе структуры на рис. 7.7 и к модели взаимодействия отраслей в духе структуры на рис. 7.8, но не с одной системой внешних связей как на этом рисунке, а с A_m^2 систем связей между m отраслями.

Тогда по законам Кирхгофа подобно (7.21) имеем

$$\begin{aligned}
 I_k + \sum_{i \neq k}^m I_{7ki} &= I_{1k} + I_{3k}; I_{2k} + I_{4k} + \sum_{i \neq k}^m (I_{2i} + I_{4i}) = I_k + \sum_{i \neq k}^m I_i; \\
 I_i &= I_{1i} + I_{3i} + I_{ki}; I_{1k} + I_{5k} = I_{3k} + \sum_{i \neq k}^m I_{8i}; \\
 I_{3k} + \sum_{i \neq k}^m I_i &= I_{4k} + I_{5k}; I_{3i} = I_{4i} + I_{5i} + \sum_{i \neq k}^m I_i; \\
 I_{1i} + I_{5i} &= I_{2i} + \sum_{i \neq k}^m I_{8i};
 \end{aligned} \tag{7.29a}$$

где k и i относятся к номерам отраслей, а цифры — к номерам блоков на рис. 7.8.

Кроме того,

$$\begin{aligned}
 H_{kk} &= H_{3k} + H_{4k} = H_{1k} + H_{2k} = H_{ii} + H_{7i}; \\
 H_{1k} &= H_{3k} + H_{5k}; H_{4k} = H_{2k} + H_{5k}; \\
 H_{3k} + H_{7i} &= H_{3i} + H_{6i}; H_{4i} = H_{6i} + H_{4k}; \\
 H_{3i} + H_{5i} &= H_{1i}; H_{4i} = H_{2i} + H_{5i}; \\
 H_{5k} + H_{6i} &= H_{5i} + H_{8i}; \text{ и т.д.}
 \end{aligned} \tag{7.29б}$$

для всех замкнутых контуров.

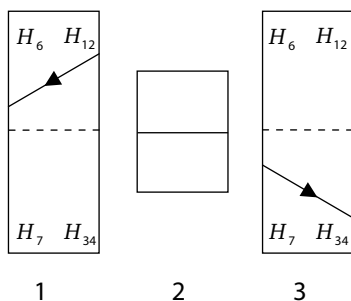
При этом для каждого из блоков обороты и стоимости связаны соотношениями $H = I_\tau \tau + L dI/dt$, $nI_\tau \tau = \int I_n dt$, $I = I_\tau + I_n$ с соответствующими индексами, а n , τ и L — соответственно статические, кинетические и динамические эластичности внутриотраслевого и межотраслевого оборотов.

В этой модели присутствуют все необходимые элементы модели экономики отраслей, что позволяет исследовать широкий круг задач

управления, включая финансовую сферу и рынок труда.

Однако существует еще возможность предварительной качественной оценки взаимодействия отраслей, если состояние каждой из них отразить в диаграммах, подобных тем, которые уже использовались применительно к экономике в целом.

Так, например, если состояния трех отраслей характеризуются диаграммами 1, 2 и 3 (где 1 — профицитна, 2 — сбалансированна, а 3 — дефицитна), то дешевые капиталы из 3 потекут в 1 в виде инвестиций, поскольку возвращаемый кредит в 1 дороже возвращаемых денег в 3, а дешевые товары (сырье) из 3 потекут в 1 и 2, где они дороже. Напротив, переток рабочей силы будет из 1 в 2 и 3 и из 2 в 3, где зарплата в составе себестоимости выше всего.



7.4. Диффузные (полевые) макроэкономические модели

Вышерассмотренные макроэкономические модели являются моделями систем с сосредоточенными параметрами.

Между тем, реальная экономика является системой, распределенной в пространстве страны, а то и в глобальном пространстве. Более того, распределения финансовых, трудовых, энергетических и сырьевых ресурсов не совпадают друг с другом, а распределение объемов потребления, не совпадает с распределением ресурсов, с чем приходится считаться при пространственном распределении производственных мощностей.

Наиболее адекватным аппаратом описания и оптимизации подобных пространственных коллизий в рамках макроэкономической модели является аппарат математической теории поля, надлежащим образом обобщенный на случай множества физически и экономически разнородных источников поля экономики в отличие от традиционно физически однородных источников (заряды или массы) в электромагнитном и гравитационном полях.

Модель предельного обобщения стоимостей

Для начала рассмотрим диффузную макроэкономическую модель, в которой стоимости лишены качественной определенности и характеризуются только поверхностной плотностью $\gamma(x, y)$ территориального распределения (в руб/м²), где x и y — координаты данной точки на поверхности земли. Тогда, обозначая

$$E = -\text{grad}h = -(i\partial h/\partial x + k\partial h/\partial y), \quad (7.30)$$

где $h(x, y)$ — привлекательность (в битах) данного места аналогично (7.13), в которой $p(x, y)$ — степень удовлетворения потребностей в той же точке, согласно теории поля имеем

$$\text{div}E = \partial E_x/\partial x + \partial E_y/\partial y = \gamma R_k R_o, \quad (7.31)$$

т.е. это условная толщина (в метрах) слоя экономической деятельности, где R_o — абсолютная доступность (в бит/м · руб); R_k — относительная доступность стоимостей; $R_k R_o = R$;

$$\Delta h = \text{div grad}h = \partial^2 h/\partial x^2 + \partial^2 h/\partial y^2 = -\gamma R. \quad (7.31a)$$

Частное решение (7.31a) представляет

$$h = \frac{R}{2\pi} \int_S \gamma dS/r, \quad (7.31б)$$

где S — площадь интегрирования; r — расстояние от данной точки до каждой точки площади интегрирования.

В случае экономической симметрии из (7.31б) следует экономический закон Кулона или Ньютона

$$h = RJ/2\pi r \quad \text{или} \quad E = RJ/2\pi r^2, \quad (7.31в)$$

где J — стоимость в точке $r = 0$.

Если γ выражает поверхностную плотность стоимости в руб/м², а h — привлекательность данного места (в битах), то E —

вектор напряженности поля экономических интересов получает размерность в бит/м и, характеризуя состояние экономики в данной точке подобно h , в отличие от последнего указывает еще и направление экономических интересов.

Иными словами \mathbf{E} — вектор выигрыша в данной точке от перемещения на каждый метр в направлении \mathbf{E} .

В переходных динамических режимах экономики (7.31a) пре-
вращается в

$$\Delta h = \partial^2 h / v_0^2 \partial t^2 - (\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2) = \gamma R, \quad (7.32)$$

где v_0 — скорость распространения экономических процессов, т.е. скорость транспортировки стоимостей в данной точке; а его частное решение — в запаздывающую привлекательность данной точки экономического пространства

$$h(r, t) = \frac{R}{2\pi} \int_S \gamma(t - r/v_0) d\mathbf{S}/r. \quad (7.32a)$$

В случае же экономической симметрии условий

$$h(r, t) = RJ(t - r/v_0)/2\pi r \quad \text{или} \quad E = RJ(t - r/v_0)/2\pi r^2. \quad (7.32 б)$$

Иными словами, если в заданной точке происходит изменение стоимости J , то на расстоянии r от этой точки привлекательность h местности изменится только по прошествии времени r/c .

Рассмотренные соотношения характеризуют пространственную и временную связь между привлекательностью h каждой данной точки экономического пространства и плотностью стоимости γ в каждой точке этого пространства.

Эти соотношения позволяют, с одной стороны, выбрать наиболее привлекательные координаты x, y места экономической деятельности по критерию $h \Rightarrow \max$ или по более универсальному критерию максимума плотности экономостатической энергии $\mathbf{c} = \gamma h \Rightarrow \max$, а то и оптимизировать размещение экономической деятельности по всей территории,

$$C = \int_S \gamma h d\mathbf{S} \Rightarrow \max, \quad (7.32в)$$

а с другой стороны, выразить параметры цепной модели (см. рис. 7.3) через параметры диффузной модели

$$H = C / J,$$

где $J = \int_S \gamma d\mathbf{S}$; $n = J/H$.

Рассмотрим простой пример.

Допустим, имеются два источника ресурсов J_1 и J_2 на расстоянии r_0 друг от друга, и надо найти оптимальное расположение производства, потребляющего эти ресурсы.

Привлекательности h_1 и h_2 , создаваемые J_1 и J_2 , согласно (7.31) составляют $h_1 = RJ_1/2\pi r_1$ и $h_2 = RJ_2/2\pi r_2$, где r_1 — расстояние до J_1 и r_2 — расстояние до J_2 , причем $r_1 + r_2 = r_0$.

Для решения задачи, конечно, можно найти максимум совокупной привлекательности $h = h_1 + h_2$, которая определит r_1 и r_2 , но проще исходить из того, что в оптимальной точке $\mathbf{E}_1 = -\mathbf{E}_2$, т.е. согласно (7.31), $RJ_1/2\pi r_1^2 = RJ_2/2\pi r_2^2$, откуда

$$r_1 = r_0 \sqrt{J_1} / (\sqrt{J_1} + \sqrt{J_2}), r_2 = r_0 \sqrt{J_2} / (\sqrt{J_1} + \sqrt{J_2})$$

и

$$h = (\sqrt{J_1} + \sqrt{J_2})^2 / 2\pi r_0$$

Задача усложняется, если, например, плотность γ рабочей силы изменяется вдоль r_0 по закону $(\gamma_1 r_1 / r_0) \exp(-r_1 / r_0)$ и $(\gamma_2 r_2 / r_0) \exp(-r_2 / r_0)$. Тогда приходится искать максимум не h , а $s = \gamma h$, что приводит к $r_1 = 0,5r_0(1 + \ln \gamma_1 J_1 / \gamma_2 J_2)$ и $r_2 = 0,5r_0(1 - \ln \gamma_1 J_1 / \gamma_2 J_2)$.

Кроме того, если в какой-то момент t_0 поставщики ресурса J_2 вдруг прекратят поставки, то производство на расстоянии r_2 прекратится только в момент $t_0 + r_2 / v_0$.

Однако существует еще связь между вектором погонной плотности \mathbf{j} оборота стоимостей в той или иной точке экономического пространства и векторной привлекательностью \mathbf{A} этого оборота в остальных точках

$$\Delta \mathbf{A} = i \partial^2 A_x / \partial x^2 + k \partial^2 A_y / \partial y^2 = \mathbf{j} / v_0^2, \quad (7.33)$$

где \mathbf{j} измеряется в руб/м · с, а \mathbf{A} — в бит · с/м, причем связь между \mathbf{j} и γ дает выраженный в стоимостях закон сохранения материи

$$\operatorname{div} \mathbf{j} = \partial j_x / \partial x + \partial j_y / \partial y = -\partial \gamma / \partial t. \quad (7.34)$$

Согласно этому закону выражаемый \mathbf{j} расход стоимости в данной точке связан с уменьшением ее запаса в той же точке, выражаемого γ .

Частное решение (7.45) дает величину и направление в каждой точке интереса к обороту в остальных точках

$$\mathbf{A} = \frac{R}{2\pi v_o^2} \int_S \mathbf{j} \times d\mathbf{S} / r, \quad (7.33a)$$

а в случае центральной симметрии поля

$$\mathbf{A} = R^2 I_{\text{л}} / 2\pi v_o^2 r, \quad (7.33b)$$

где $R^2 / 2\pi v_o^2 = L_o$ — локальная инертность поля экономики, а $I_{\text{л}}$ — локальный оборот в центре симметрии поля, так что $A = L_o I_{\text{л}} / r$.

Иными словами, чем дальше заинтересованное юридическое лицо (наблюдатель) находится от объекта своих интересов, тем меньше его интерес к обороту стоимостей на этом объекте, хотя этот интерес пропорционален величине $I_{\text{л}}$ этого оборота и локальной его инертности L_o , измеряемой в бит · с²/руб.

В переходном режиме

$$\partial^2 \mathbf{A} / v_o^2 \partial t^2 - \Delta \mathbf{A} = -R \mathbf{j} / v_o^2, \quad (7.35)$$

а его частное решение дает запаздывающую привлекательность оборота

$$\mathbf{A}(t - r / v_o) = \frac{L_o}{R_k} \int_S \mathbf{j}(t - r / v_o) \times d\mathbf{S} / r. \quad (7.35a)$$

В случае центральной симметрии поля

$$\mathbf{A}(t - r / v_o) = L_o I_{\text{л}}(t - r / v_o) / r, \quad (7.35b)$$

т.е. сохраняется обратная зависимость привлекательности оборота от расстояния, но с запозданием на r/v_0 .

Эти соотношения позволяют, с одной стороны, выбрать наиболее привлекательные по обороту стоимостей места на экономической карте либо по критерию $A \Rightarrow \max$, либо по критерию плотности экономокинетической энергии $c_j = A \cdot j \Rightarrow \max$, либо, наконец, оптимизировать размещение оборота по всей территории

$$C = \int_S c_j dS \Rightarrow \max.$$

Например, если (как в предыдущем примере) необходимо выбрать местоположение производства стоимостей между двумя пунктами с оборотами потребления I_1 и I_2 , расстояние между которыми составляет r_0 , то согласно (7.35б) векторные привлекательности $A_1 = L_0 I_1 / r_1$ и $A_2 = L_0 I_2 / r_2$, а плотности резервов энергоснабжения соответственно $(j_1 r_1 / r_0) \exp(-r_1 / r_0)$ и $(j_2 r_2 / r_0) \exp(-r_2 / r_0)$ — так что плотность суммарной экономической энергии

$$c = L_0 (I_1 j_1 e^{-r_1 / r_0} + I_2 j_2 e^{-r_2 / r_0}) / r_0.$$

Максимальное значение c достигается при

$r_1 = 0,5 r_0 (1 + \ln I_1 j_1 / I_2 j_2)$ и $r_2 = 0,5 r_0 (1 - \ln I_1 j_1 / I_2 j_2)$, причем, естественно, $r_1 + r_2 = r_0$.

Модель размещения разнородных ресурсов

Перейдем теперь к полевой модели оборота разнокачественных ресурсов, различающихся как по плотности γ их размещения по экономическому пространству, так и по плотности j их оборота в разных местах.

Но главное отличие разнородных ресурсов от однородных состоит в том, что каждый из них характеризуется своими, только ему присущими R , v_0 и L_0 .

В этом случае все соотношения этой главы сохраняют силу, но все связываемые ими пространственные векторы и скаляры становятся еще и векторами в пространстве параметров, а экономическое поле становится синтетическим, поскольку связывает в единое целое элементарные поля m разнородных стоимостей.

Тогда (7.31а) запишется в форме

$$\Delta \|h\| = -\|\gamma\| \|R\|, \quad (7.36)$$

где $\|\gamma\|$ — параметрический вектор поверхностных плотностей распределения разнородных стоимостей, $\|h\|$ — параметрический вектор привлекательностей данной точки поля, а $\|R\|$ — матрица R_{ki} .

При этом решение (7.36) составит, во-первых, сумму привлекательностей h_{ki} по каждой из стоимостей, т.е. собственную привлекательность

$$h_o = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^m R_{ki} R_i \int_S \gamma_i dS/r, \quad (7.36a)$$

во-вторых, сумму привлекательностей h_{ni} взаимодействия разнородных стоимостей, т.е. взаимную привлекательность

$$h_b = \frac{1}{2\pi} \sum_{i,n} R_i R_{kin} \int_S \gamma_i dS/r \quad (7.36b)$$

и в целом системную привлекательность

$$h = h_c = h_o + h_b, \quad (7.36b)$$

где R_{ii} — собственная высота слоя экономической деятельности; R_{ni} — взаимная высота (высота слоя совместной деятельности по k -й и i -й стоимостям); Π — число перестановок n и i кроме kk .

Если подсчитать экономическую энергию в руб. · бит по всему экономическому пространству, то $C_c = \sum_{i=1}^m \int_S h_k \gamma_i dS$ позволяет оптимизировать размещение производства по критерию $C_c \Rightarrow \text{extr}$.

Например, если в простейших задачах размещения производства, рассмотренных ранее, J_1 и J_2 , а также их обороты I_1 и I_2 оказываются физически и экономически разнородными, то их поля обладают различными характеристическими константами соответственно R_1, v_1, L_1 и R_2, v_2, L_2 , т.е. $h_1 = R_1 J_1 / 2\pi r_1$, $h_2 = R_2 J_2 / 2\pi r_2$, $A_1 = L_1 I_1 / r_1$, $A_2 = L_2 I_2 / r_2$, вследствие чего и оптимальные координаты производства становятся зависимыми от этих констант, так что относительно

запасов $r_1 = 0,5r_o(1 + \ln \gamma_1 J_1 R_1 / \gamma_2 J_2 R_2)$, а относительно оборотов $r_1 = 0,5r_o(1 + \ln L_1 I_1 j_1 / L_2 I_2 j_2)$.

Поскольку

$$\mathbf{A}_n = h v / v_o^2, \quad (7.37)$$

а

$$\mathbf{j} = \gamma \times v, \quad (7.38)$$

то для получения векторной привлекательности оборота достаточно умножить обе стороны всех соотношений для соответствующих h на v/v_o^2 и тогда собственная векторная привлекательность

$$\mathbf{A}_0 = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^m R_i R_{ki} \int_S \mathbf{j}_i \times d\mathbf{S} / r v_o^2, \quad (7.39a)$$

взаимная векторная привлекательность

$$\mathbf{A}_B = \frac{1}{2\pi} \sum_{i \neq n}^{\Pi} R_i R_{kin} \int_S \mathbf{j}_i \times d\mathbf{S} / r v_{oi}^2, \quad (7.39b)$$

а системная векторная привлекательность

$$\mathbf{A}_c = \mathbf{A} = \mathbf{A}_0 + \mathbf{A}_B. \quad (7.39b)$$

Соответственно экономическая энергия оборотов по всему пространству составит

$$C = \int_S \mathbf{A} \cdot \mathbf{j} d\mathbf{S} \quad (7.40)$$

Поскольку C_j зависит от размещения оборотов, то $C_j \Rightarrow \max$ соответствует оптимальному размещению оборотов.

Однако глобальный оптимум экономики достигается при совместной оптимизации (7.40) и (7.32): $C + C_j \Rightarrow \max$.

Аналогичные процедуры применительно ко всем функциям модели на рис. 7.8 позволяют, во-первых, определить сосредоточенные параметры этой модели, а во-вторых, найти оптимальное распределение этих функций по территории страны.

Моделирование межотраслевого взаимодействия формально ничем не отличается от вышеизложенной процедуры, в которой только γ и j будут относиться к размещению и обороту продукции отдельных отраслей, а R и v_0 характеризуют объем и скорость межотраслевого взаимодействия в производственном процессе.

Если же моделируется процедура межотраслевого взаимодействия на рынке сбыта продукции отраслей, то и в этом случае аппарат моделирования никак не меняется, но R и v_0 характеризуют статические и кинетические эластичности.

Во всех этих случаях в динамике из-за различия скоростей v_0 взаимодействия различных отраслей прежде малопривлекательное место может в какой-то промежуток времени оказаться более привлекательным, если более удаленные отрасли взаимодействуют быстрее менее удаленных, и наоборот.

Темы для самоконтроля

1. Понятие об информационных моделях макроэкономического управления.
2. Основные понятия информационного подхода к анализу систем и их применение при разработке моделей макроэкономического управления.
3. Чувственная информация, или информация восприятия, и ее интерпретация в моделях макроэкономического управления.
4. Логическая информация, или информационный потенциал, в моделях макроэкономического управления.
5. Принципы разработки информационных моделей макроэкономического моделирования.

ГЛАВА 8

Применение методов системного анализа при организации производства и управлении предприятиями

Проблема разработки систем управления предприятиями, организациями, регионами является одной из первых, для решения которой стали применять методы и модели системного анализа. Поэтому в данной главе рассмотрены методика проектирования и развития системы организационного управления предприятием (организацией) и подходы к реализации этапов этой методики (параграфы 8.1—8.5).

Студентам важно получить умение и навыки разработки такой методики, а излагаемый в данной главе материал может стать основой для курсового проекта, выполнение которого поможет студентам освоить применение системного анализа при совершенствовании управления предприятием.

В данной главе рассмотрены также примеры применения системных представлений при организации производственных процессов. В частности, примеры применения изложенного в гл. 3 информационного подхода для моделирования производственных систем, включая цепи массового обслуживания, транспортные и сводящиеся к ним задачи, выбор гибкости производственной структуры (параграф 8.6).

После изучения данной главы студент должен:

знать

- принципы разработки методик системного анализа социально-экономических объектов;
- методики структуризации целей и функций;

- методики реструктуризации систем организационного управления;
- методики системного анализа для принятия решений по развитию предприятий и организаций, управлению внедрением инноваций;

уметь

- разрабатывать методики системного анализа и автоматизированные диалоговые процедуры для их реализации;

владеть

- навыками применения методов системного анализа при организации производства и управлении предприятием.
-

8.1. Методика проектирования и развития системы управления предприятием (организацией)

Принципы разработки методики проектирования и развития предприятия (организации). Система организационного управления (СОУ) предприятием или любой организацией, в том числе непромышленной сферы, должна обеспечивать адаптацию предприятий (организаций) к постоянно изменяющейся среде, сохранение их целостности при предоставлении свободы развития субъектам производственной (или иной) деятельности (способствующей повышению эффективности их труда), т.е. обеспечивать существование предприятия (организации) как самоорганизующейся системы.

Сложность проблемы проектирования системы организационного управления обусловлена необходимостью поиска компромисса между целостностью представления сложного объекта и детализацией описания его компонентов в процессе разработки и реализации проекта. Эту проблему можно решить с помощью семейства моделей, объединяемых многоуровневой методикой, базирующейся на стратифицированном представлении процесса проектирования.

Страты можно выделять в соответствии с принципом, рассмотренным в гл. 1 (рис. 1.12), т.е. рассматривая последовательное преобразование представлений о системе в процессе проектирования, выделить следующие уровни абстрагирования — от замысла (концепции) до материального воплощения:

теоретико-методологический или концептуальный;

для организационных систем этот уровень обычно завершается разработкой устава предприятия, концепции его перспективного развития;

научно-исследовательский;

в результате НИР выбираются и предлагаются теоретические и прикладные модели, позволяющие провести необходимый анализ для выполнения последующих проектных работ;

проектный;

завершающийся определением комплекса методов и средств решения проблемы;

инженерно-конструкторский;

для организационных систем этот уровень завершается разработкой структур, программных средств;

технологический;

разработка организационно-технологических процедур подготовки и реализации проектных и управленческих решений, разработка информационной технологии реализации программных продуктов;

материальное воплощение, реализация системы (для организаций) — это комплекс нормативно-технических и нормативно-методических документов, обеспечивающих реализацию принятых проектных или управленческих решений, т.е. положения, методики, инструкции, стандарты и другие нормативные документы.

В варианте методики для конкретной организации некоторые страты могут быть объединены. Например, в варианте, приведенном на рис. 8.1, объединены проектный и инженерно-конструкторский уровни.

Этот путь от замысла системы до ее реализации, который проходит в процессе проектирования любая система, может быть весьма длительным. При этом разные составляющие СОУ, порядок разработки которых может быть представлен последовательно и параллельно выполняемыми этапами и подэтапами, могут проходить этот путь неодновременно. В этой сложной ситуации разрабатываемая методика позволит сохранять целостное представление о СОУ и процессе ее проектирования.

Уровни абстрагирования системы управления	Анализ факторов, влияющих на создание и функционирование предприятия	Анализ целей и функций (ЦФ) системы управления предприятием	Разработка (корректировка) организационной структуры системы управления	Создание и развитие системы нормативно-методического обеспечения управления (СНМОУ)	Разработка и развитие автоматизированной системы управления (АСУП)
Концептуальный уровень описания системы	Анализ рынка. Анализ факторов, влияющих на: ■ производственный план; ■ финансовый план; и т.п.	Разработка принципов формирования и анализа целей и функций системы управления предприятием	Выбор подхода и разработка принципов формирования и анализа вариантов организационной структуры управления	Разработка принципов создания и развития СНМОУ, состава НМД и НТД, структуры СНМОУ предприятия	Разработка принципов развития интегрированной АСУ предприятия (организации)
Уровень научно-исследовательских работ	Разработка моделей анализа факторов среды, рынка и т.д.	Разработка методик формирования и оценки структуры ЦФ	Разработка методик формирования и анализа вариантов организационной структуры	Разработка методик создания и развития СНМОУ предприятия	Разработка методик развития интегрированной АСУП
Уровень конструкторских разработок (программных процедур)	Создание автоматизированных диалоговых процедур, программ, тестов и проведение анализа	Разработка (адаптация) АДПАЦФ и автоматизированных процедур оценки структуры ЦФ	Разработка автоматизированных процедур моделирования вариантов организационной структуры	Разработка автоматизированных баз данных и ИПС АСНМОУ	Разработка автоматизированных процедур АСУП
Уровень технической реализации	Разработка информационно-технологических процедур реализации моделей анализа	Разработка информационной технологии использования АДПАЦФ	Разработка информационной технологии моделирования организационной структуры	Разработка информационной технологии реализации АСНМОУ	Разработка информационной технологии реализации процедур АСУП
Уровень материального воплощения (реализации системы)	НПД и инструкции по эксплуатации программного обеспечения для пользователей	Методики, инструкции пользователей и другие НМД	Методика. СТП «Организационная структура». Положения о подразделении и тому подобные НМД и НТД	Методика НМД, стандарты и другие нормативные документы	Методика НМД, инструкции пользователям и т.п.

Принятые сокращения: АДПАЦФ — автоматизированная диалоговая процедура анализа целей и функций; АСНМОУ — автоматизированная система нормативно-методического обеспечения управления; СТП — стандарт предприятия; НПД, НМД и НТД — нормативно-правовые, нормативно-методические и нормативно-технические документы соответственно.

Рис. 8.1

При развитии СОУ любое нововведение или комплекс нововведений в управление проходит такой же путь, и методика также помогает в планировании процессов их внедрения, обсуждении результатов, разрешении противоречий, возникающих из-за часто проявляющегося на практике смешивания понятий разных страт.

В варианте методики, приведенном на рис. 8.1, укрупненные этапы выделены с применением методики, базирующейся на концепции деятельности (см. гл. 7, параграф 7.3). В качестве примера рассматривается сфера организационного управления. Аналогично можно было бы структурировать сферу производства или рассмотреть организацию функционирования предприятия. В приведенном варианте этапы повторены на всех стратах, что удобно при организации проектных работ. Однако в общем случае выделение этапов и подэтапов на разных стратах может быть неодинаковым.

После выделения страт на каждой из них определяется последовательность этапов и выбираются методы, модели, методики их реализации. При определении этапов, т.е. структуризации СОУ, могут использоваться методики, базирующиеся на различных концепциях системы.

Выбор методов и моделей для выполнения этапов методики. Анализ особенностей и закономерностей самоорганизующихся систем, как было показано выше, позволяет сделать вывод о принципиальной ограниченности их формализованного описания. Поэтому при выборе методов выполнения этапов разрабатываемой методики следует использовать (или предложить собственную) классификацию методов моделирования таких систем, в которой выделяется два основных класса — МАИС и МФПС. Классификация помогает выбирать методы моделирования для реализации этапов многоуровневой методики и разрабатывать модели, базирующиеся на постепенной формализации задач принятия решения.

При выборе методов следует учитывать особенности объекта, для которого проектируется система организационного управления, степень осведомленности о нем на начальном этапе проектирования, наличие аналогов и возможность заимствования готовых моделей и автоматизированных процедур. В процессе разработки методики необходимо обосновать выбор методов для основных этапов и привести примеры реализации этих методов.

Ниже приводятся краткие характеристики укрупненных этапов методики, рекомендации и примеры выбора методов их выполнения.

8.2. Анализ факторов, влияющих на создание и функционирование предприятия (организации)

Использование закономерности коммуникативности. Для обеспечения полноты анализа факторов, влияющих на создание и функционирование предприятия, целесообразно использовать закономерность коммуникативности, в соответствии с которой в составе сложной среды, инициирующей факторы, выделяются (рис. 8.2):

- *надсистема*, определяющая требования к проектируемой СОУ, ограничивающая ее деятельность и потребляющая результаты этой деятельности;
- *подведомственные системы*, обеспечивающие деятельность рассматриваемой СОУ материальными, кадровыми, информационными и иными ресурсами;
- системы, находящиеся в равноправных отношениях с проектируемой СОУ, — *актуальная, или существенная, среда*, в которой можно выделить *дружественную, конкурентную и безразличную составляющие части*;
- *внутренняя среда собственно системы*, которая существует в самоорганизующихся системах в форме инициатив активных элементов или создаваемых ими помех.

Для обеспечения повторяемости процесса выявления факторов и накопления опыта разных экспертов следует использовать автоматизированную диалоговую процедуру анализа факторов (АДПАФ), которая позволяет опрашивать экспертов и, обобщая результаты опросов, накапливать все более полный перечень факторов, являющийся основой для дальнейшей их оценки и анализа.

Обеспечить еще большую полноту выявления факторов позволяет использование информационного подхода, который помогает учесть развитие факторов.

Как было показано в гл. 3, сущность любого понятия информационной модели представляется как функция (или как совокупность) ряда составляющих, характеризующих изменения исходной собственной сущности этого понятия

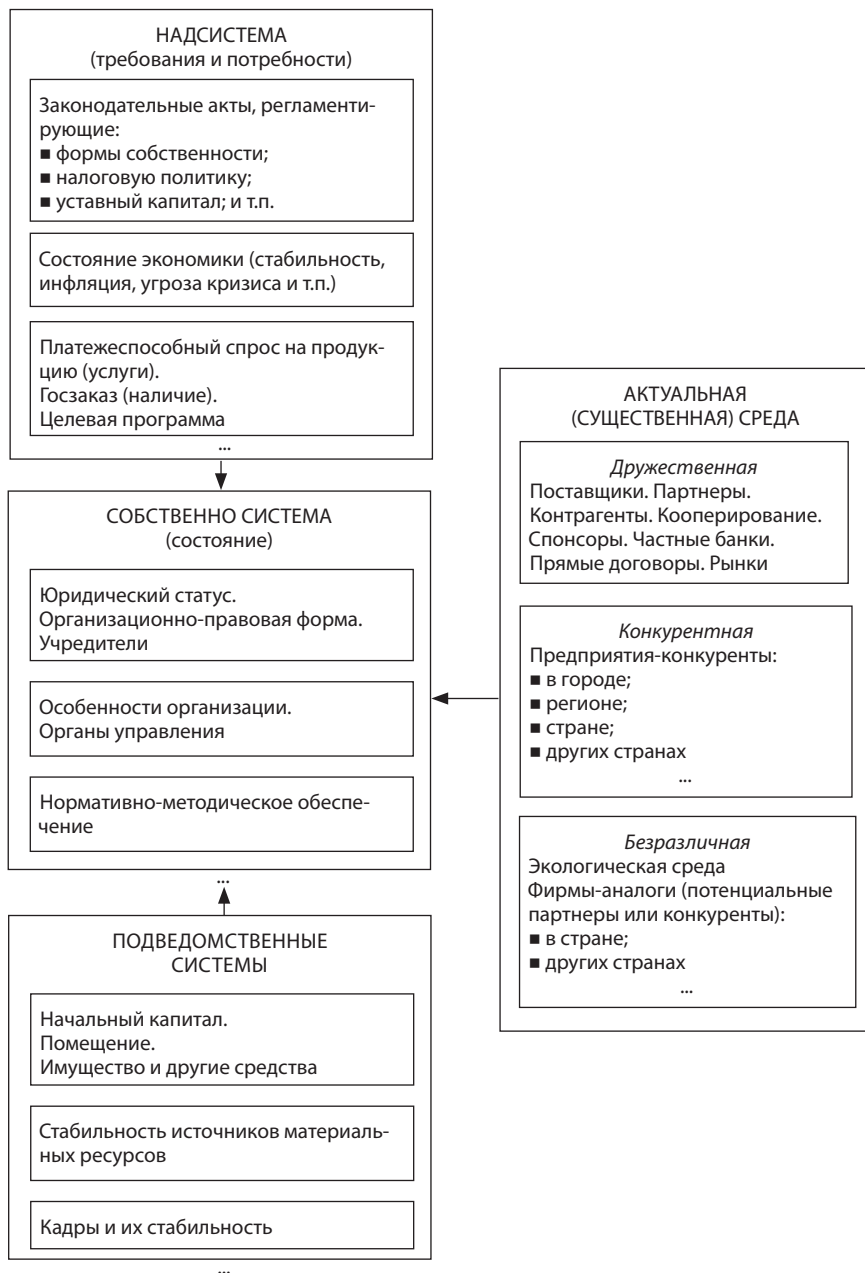


Рис. 8.2

$$H = f(H_n, H_\tau, H_L), \quad (8.1)$$

где применительно к данной проблеме H_n — исходная сущность фактора, которая согласно основному закону классической логики обратна объему понятия n об этом факторе, т.е. $H_n = J/n$, J — информация о факторе (отметим, что способ усреднения информации о факторе может быть и иным, что определяется выбором параметра — см. табл. 3.1); H_τ — сущность процесса изменения (эволюции) понятия о факторе, которая обратно пропорциональна изменению n во времени $dn/dt = 1/\tau$, т.е. $H_\tau = \tau dJ/dt$, символ dJ/dt означает изменение информации во времени; n — константа, характеризующая конкретную систему (фактор) в данный период ее развития, которая названа информационным сопротивлением; H_L — сущность изменения эволюции понятия о факторе, которая пропорциональна изменению эволюции объема понятия $d^2n/dt^2 = 1/L$, так что $H_L = L d^2J/dt^2$, dJ/dt — изменение эволюции информации во времени (т.е. ускорение изменения J); L — ригидность (негибкость), устойчивость влияния фактора, сопротивляемость его изменению.

Таким образом,

$$H = f(J/n, \tau dJ/dt, L d^2J/dt^2). \quad (8.1a)$$

Пример формулировок факторов, полученных с использованием (8.1a), приведен в табл. 8.1

Таблица 8.1

H_n	H_τ	H_L
1. Наличие начального капитала	Возможность получения начального капитала (τ — срок изменения начального состояния фактора)	Возможность расширения (ускорения накопления) капитала
2. Наличие помещения для предприятия	Возможность приобретения или получения в аренду помещения для предприятия (с указанием сроков)	Возможность расширения помещения (площадей) для предприятия (с указанием ускорения расширения)
3. Номенклатура выпускаемой продукции (услуг)	Обновление номенклатуры выпускаемой продукции (с указанием сроков)	Скорость обновления (ускорение изменения) номенклатуры выпускаемой продукции (услуг)
4. Объем выпускаемой продукции (по видам изделий)	Изменение объема выпускаемой продукции (кг/мес., м/нед., руб/год и т.д.)	Скорость изменения объема выпуска продукции (по видам изделий)
5. Наличие кадров	Необходимость (возможность) расширения кадрового состава (по специальностям)	Необходимость (возможность) ускорения расширения кадрового состава (по специальностям)

Факторы могут влиять друг на друга, что также можно отразить в модели анализа факторов, введя соответствующие характеристики n , τ и L , характеризующие влияние i -го фактора на j -й.

При анализе факторов используются методы организации сложных экспертиз: экспертные процедуры методики ПАТТЕРН, метод решающих матриц *Г. С. Поспелова*, метод многоуровневых многокритериальных оценок, базирующийся на информационном подходе к анализу систем, позволяющем обобщать детерминированные и вероятностные оценки степени влияния факторов на реализацию целей предприятия, рассматриваемые в гл. 3 и 5. Разрабатывают (используют выбранные) автоматизированные средства для реализации этих методов.

8.3. Анализ целей и функций системы управления предприятием (организацией)

Задачи и принципы формирования и анализа структур целей и функций систем управления. При выполнении этого укрупненного этапа необходимо обеспечить полноту определения целей и функций предприятия (организации) на соответствующем этапе его развития, провести оценку функций по критериям их важности, трудоемкости выполнения, частоты обращения и другим критериям, и сформировать структуру целей и функций для выбранного уровня системы управления (администрации предприятия или организации в целом, уровня производства, цеха и т.п.) или исследуемого вида деятельности.

Полученная структура целей и функций может служить основой для разработки организационной структуры предприятия, принятия решений о распределении финансовых, материальных, кадровых и других ресурсов, установления доплат за выполнение функций организационного управления сотрудникам, совмещающим эти функции с основными производственными обязанностями (что часто имеет место в малых предприятиях).

На основе сравнительного анализа методик структуризации целей, рассмотренных в гл. 5, и обобщенной методики формирования и анализа структур целей и функций систем управления (рис. 5.22), в которой предусмотрена возможность использования

различных методик структуризации при формировании первоначального варианта структуры ЦФ и выбор методик в конкретных условиях с учетом особенностей предприятий или организаций, периода их развития, можно разработать методику для конкретных предприятий (организаций), типа приведенных в гл. 5.

Использование методик структуризации, базирующихся на различных концепциях, позволяет обеспечить полноту анализа целей и функций системы управления предприятием (организацией) с точностью до принятой концепции, что важно учитывать при разработке конкретных методик.

Пример обобщенной структуры ЦФ, полученных с применением различных методик, приведен в следующем разделе.

Для формирования вариантов структуры целей проектируемой системы организационного управления может использоваться автоматизированная диалоговая процедура анализа целей и функций, идея которой изложена в гл. 7.

При управлении крупными предприятиями, объединениями, вузами невозможно построить единую древовидную иерархическую структуру, необходимо использовать многоуровневые иерархические представления типа страт, эшелонов.

При реализации второго этапа методики анализа целей (см. рис. 5.22) используются экспертные оценки (подэтап 2.1.1), в том числе методы организации сложных экспертиз (особенно в многоуровневых системах), косвенные количественные оценки (подэтап 2.1.2) и информационная оценка степени целостности (подэтап 2.2), которая применительно к структурам целей интерпретируется как критерий управляемости системой при предоставлении свободы субъектам, реализующим подцели и функции, а для эшелонированных структур (типа холдинга) может трактоваться как степень координируемости предприятий и организаций, входящих в холдинг.

Для реализации подэтапов оценки разрабатываются или используются соответствующие автоматизированные процедуры.

Примеры обобщенной структуры целей и функций систем управления. В гл. 5 приводились примеры структур целей и функций, построенных с использованием различных методик структуризации ЦФ. В то же время в реальных условиях, как правило, формируют обобщенную методику, объединяющую признаки структуризации нескольких.

В частности, в новых условиях многоукладной экономики, внедрения рыночных принципов у предприятий возникли проблемы, потребовавшие большего внимания к пересмотру взаимодействия предприятия с постоянно изменяющейся рыночной средой — с надсистемой, которая теперь выступает не только как вышестоящие органы управления, а в основном, как потребитель продукции, с конкурентной актуальной средой. Для того, чтобы полнее раскрыть составляющие пространства инициирования целей целесообразно использовать другие методики структуризации.

На рис. 8.3 приведен пример обобщенной структуры, на верхнем уровне которой используется методика, базирующаяся на концепции системы, учитывающей ее взаимодействие со средой, а ветви, полученные на основе признака «пространство инициирования целей», формируются с использованием других методик.

Надсистема структурируется с использованием методики *Акоффа — Эмери*, в соответствии с которой определяются ветви, названные в этой методике условно: «изобилие (И)», «правда (П)», «добро (Д)» и «красота (К)». Эти составляющие интерпретируются с учетом особенностей конкретного предприятия (организации).

При этом в зависимости от характера организации могут учитываться не все составляющие. Например, на рис. 8.3 при структуризации НС для промышленного предприятия может отсутствовать ветвь «К», а если бы рассматривался театр или ресторан, то эта составляющая означала бы влияние организации на развитие культуры региона, страны. В то же время некоторые составляющие могут инициировать несколько подцелей, как, например, ветвь «Д» иницирует две подцели — 1.3 и 1.4.

Подведомственные системы могут определяться на основе опыта использования методики, основанной на двойственном определении системы Уёмова. При структурировании актуальной среды использован прием Колосова, т.е. выделение компонентов: дружественной (Друж), конкурентной (Конк) и безразличной (Безр) среды.

Собственно система управления структурирована с использованием методики, базирующейся на концепции деятельности, в соответствии с которой в структуре выделяются составляющие: анализа «целей и функций (Ц)», «содержания и формы (СиФ)», реализуемой в организационной структуре (оргструктуре) организации, «методы (М)» (эта составляющая интерпретируется как система нормативно-методического обеспечения управления предприятием); «средства (Ср)», эта составляющая интерпретируется, как правило, как разработка автоматизированной

системы управления предприятием (АСУП); «входы (Vx)» — факторы, влияющие на создание и функционирование предприятия. При этом составляющие Ц и СиФ объединены в компоненте 4.1.

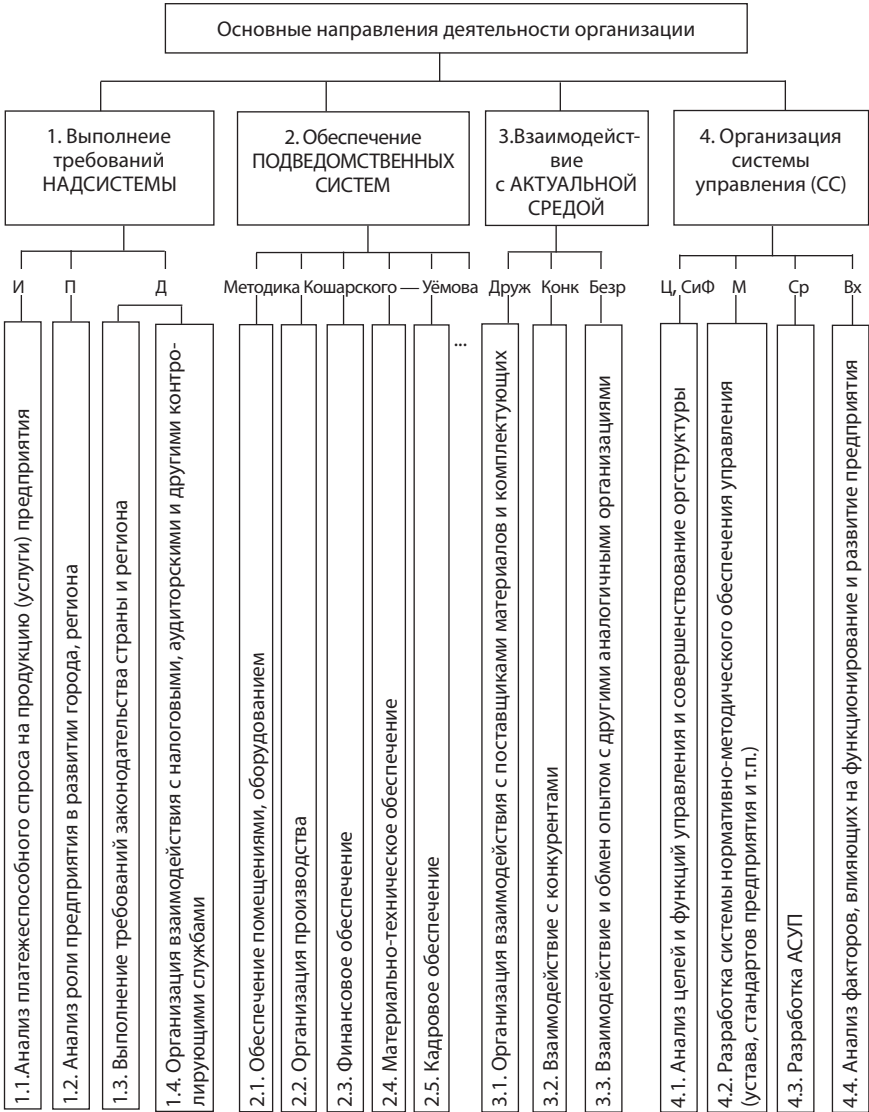


Рис. 8.3

Формирование структуры целей и функций системы управления районом¹. При формировании этой структуры за основу взята методика, учитывающая взаимодействие системы со средой (рис. 8.4).

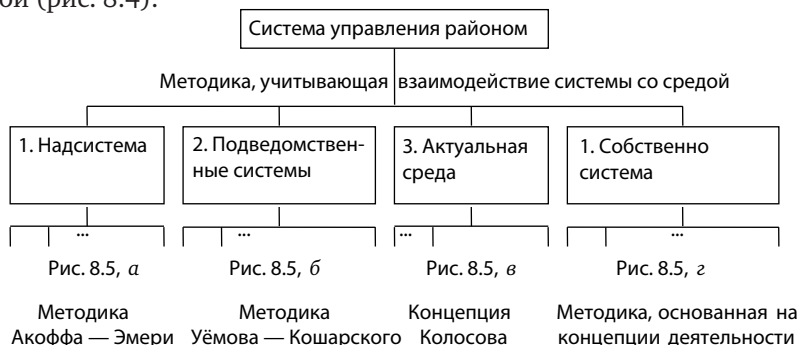


Рис. 8.4

Затем для структуризации первого из выделенных направлений, характеризующего взаимодействие системы управления районом с «надсистемой» (в качестве которой рассматриваются территория и население) применена методика **Акоффа — Эмери**, позволяющая раскрыть разносторонние сферы, необходимые для обеспечения жизнедеятельности района и его жителей (рис. 8.5, а).

Примеры более детальной структуризации первой из ветвей структуры ЦФ на рис. 8.5 приведены на рис. 8.6.

При структуризации второй ветви рис. 8.4 «подведомственные системы» использован классификатор видов деятельности, хорошо отработанный в методике **Кошарского — Уёмова** (рис. 8.5, б).

В актуальной среде выделены (рис. 8.5, в) дружественная, конкурентная и безразличная составляющие (концепция **В. Г. Колосова**).

А последняя ветвь «собственно система управления» (содержащая подцели и функции, обеспечивающие выживание и развитие района и его администрации) структурирована с использованием методики, базирующейся на концепции деятельности (рис. 8.5, г).

При дальнейшей структуризации функций в разных ветвях структуры использованы признаки структуризации, рекомендованные для различных уровней системы на рис. 8.6, в применяемых методиках и опыт сотрудников администрации района.

¹ Пример подготовлен совместно с сотрудниками Администрации Калининского района Санкт-Петербурга **В. А. Быковским** и **М. В. Денисовым** в 1994 г.

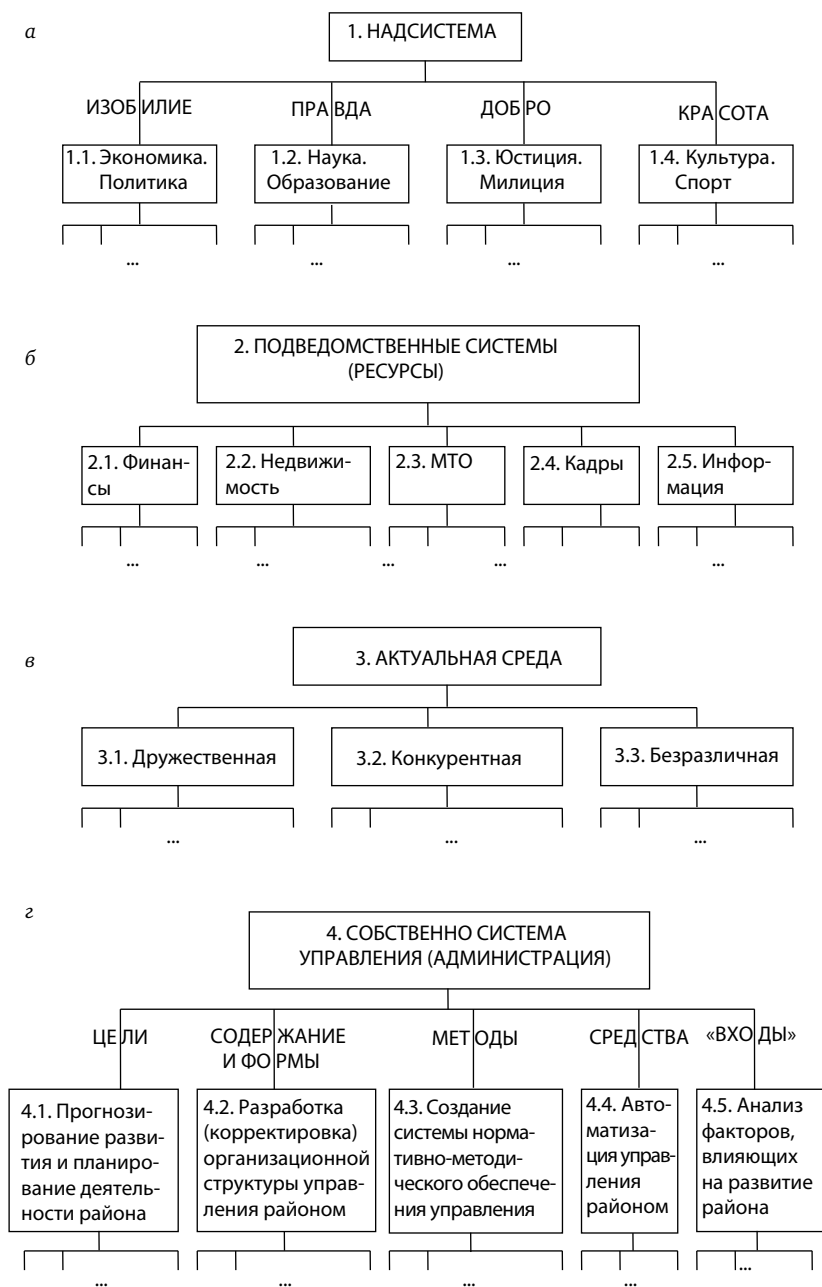


Рис. 8.5

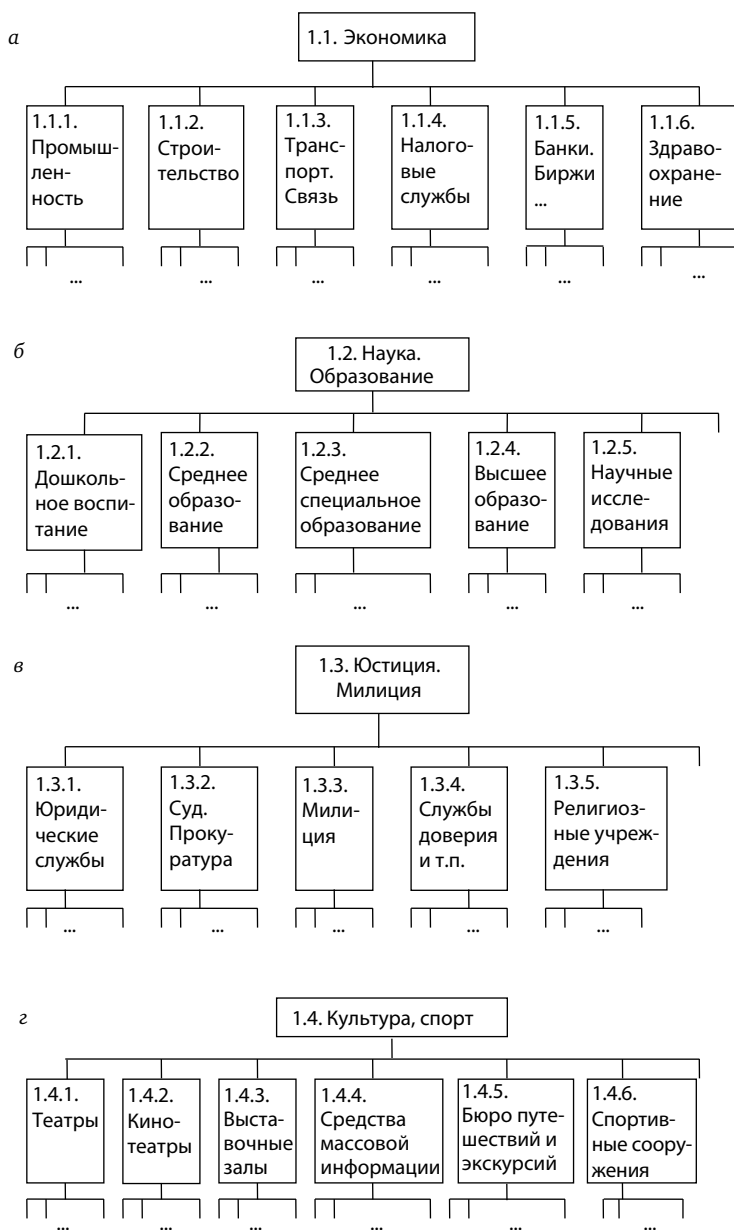


Рис. 8.6

Отметим, что представление структуры целей и функций в виде нескольких рисунков (рис. 8.4—8.6) удобно при ее формировании (структурирование различных ветвей может быть поручено соответствующим подразделениям Администрации), в последующем она может быть оформлена и в виде единой структуры на рис. 8.3.

Большинство составляющих известно опытным руководителям. Однако наглядное их представление и помещение на один уровень помогает осознать, что все они равноценны и только одновременная реализация программ по всем направлениям дает эффект целостности, обеспечивает качество жизни и развитие района, региона, страны. В то же время в разные периоды развития нужно оценивать относительную значимость функций в пределах своего уровня и принимать решение о финансовой, материальной, кадровой поддержке отстающих направлений деятельности района, и приведенная структура обеспечивает возможность такой оценки.

8.4. Разработка (корректировка) организационной структуры предприятия (организации)

Анализ подходов к проектированию (совершенствованию) организационных структур¹. Проблема совершенствования организационных структур — одна из самых сложных проблем экономики. Особенно усложняется она в настоящее время, когда предприятия и организации претерпевают существенные преобразования в соответствии с новыми условиями экономического состояния страны. Постоянно изменяющаяся рыночная ситуация требует регулярной корректировки организационной структуры, для чего предприятию (организации) необходимо иметь соответствующую методику и автоматизированные средства ее поддержки.

Исследованиям форм и методов проектирования организационных структур посвящено много работ. Их анализ показывает, что в принципе при представлении организационных структур для предприятий различных объемов, использующих разные прин-

¹ Обзор подходов подготовлен совместно с канд. экон. наук, доц. СПбГПУ *М. И. Старовойтовой* в 1989 г.

ципы управления, могут быть применены любые из форм структур, приведенных на рис. 1.10. При этом в теории и практике организационных структур современных предприятий и организаций используются, как правило, смешанные формы и принципы управления, для характеристики которых введена соответствующая терминология.

Исходными организационными формами управления являются *линейная* (рис. 8.7, а) и *функциональная* (рис. 8.7, б), которые соответствуют древовидной иерархической структуре (см. рис. 1.10, б) и предельному случаю иерархии со «слабыми» связями (см. рис. 1.10, в) или матричной структуре (рис. 1.10, ж),

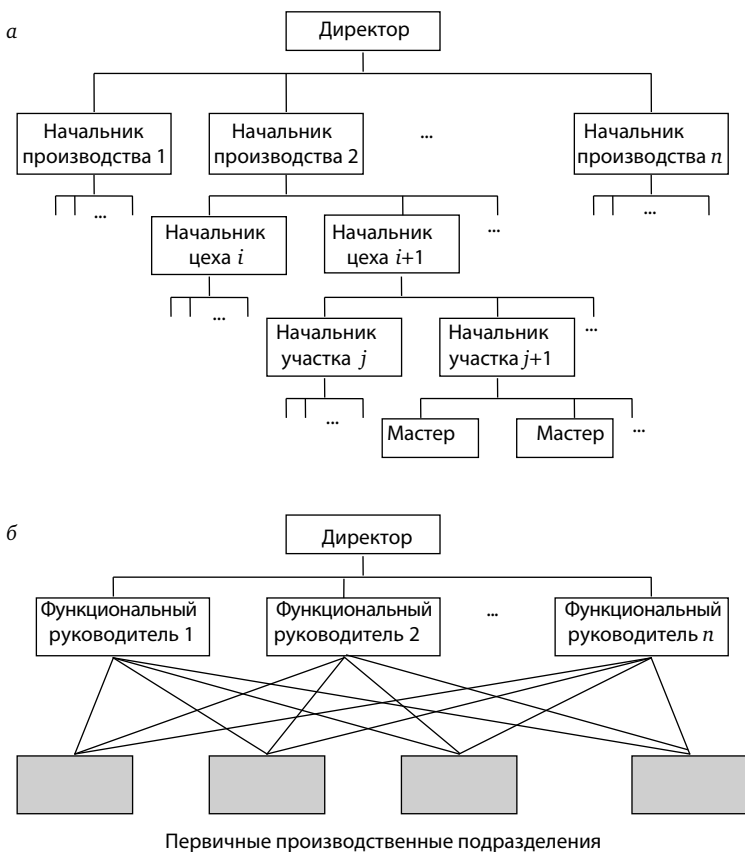


Рис. 8.7

в которой существуют все взаимосвязи между элементами смежных уровней иерархии (образующими оси матрицы).

Эти соответствия обуславливают свойства линейной и функциональной структур, в первой из которых реализуется принцип единоначалия и единства распорядительства (обеспечивающий эффективность оперативного управления), а вторая — была предложена как средство для повышения профессиональной квалификации работников аппарата управления (что повышает эффективность принимаемых ими управленческих решений по функциям управления), но при длительном ее существовании на первый план выступают специфические интересы функциональных подразделений, что может вступить в противоречие с интересами предприятия в целом.

В настоящее время в чистом виде эти исходные формы организационных структур не применяются.

Наиболее распространенной формой является сочетание линейного и функционального принципов управления. Такие структуры называют *линейно-функциональными*.

В таких структурах (рис. 8.8) принято такое разделение труда, при котором линейные звенья управления наделены принципами единоначалия и выполняют функции распорядительства, а функциональные — оказывают помощь линейным, но свое непосредственное воздействие на нижележащие звенья осуществляют только после согласования технической, экономической и других видов политики и планов ремонта помещений, техники, распределения ресурсов (финансовых, кадровых, ЭВМ и т.д.) на директорате (научно-техническом совете) предприятия (или организации), что отражено на рис. 8.8 пунктирной линией, т.е. ослабленной связью (откуда и произошел термин — иерархия со «слабыми» связями).

Принципы линейного и функционального управления используются в любой организационной структуре. Линейное управление строится на основе производственной структуры предприятия (организации). Функциональные подразделения обеспечивают единую политику и централизацию управления по основным укрупненным функциям организации производственного процесса (техническая и технологическая подготовка производства, материально-техническое обеспечение процесса производства, финансовое, кадровое и другие виды обеспечения предприятия). При этом отношения внутри функциональных подразделений также строятся по

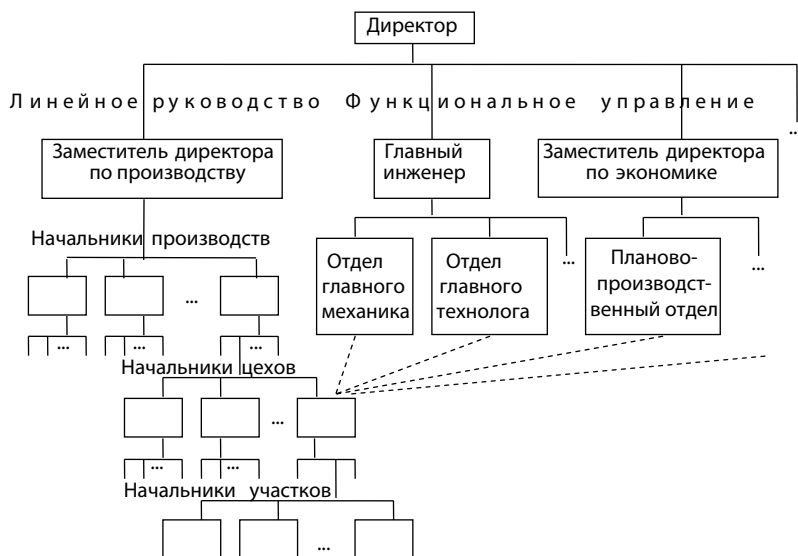


Рис. 8.8

линейному принципу (заместитель директора по соответствующему виду деятельности — отдел — бюро).

В то же время повышение динамичности изменений внешних и внутренних условий деятельности предприятия (организации) выявило недостатки линейно-функциональных структур, которые являются основной организационной формой управления на большинстве предприятий и в организациях непромышленной сферы. Такая структура обеспечивает эффективное управление в стабильных условиях. Когда же перед предприятием (организацией) возникают не обычные, связанные с выполнением плана, задачи, а новые, крупные, единовременные проблемы, эта структура оказывается недостаточной. Причем, чем лучше отлажена линейно-функциональная структура, тем больше она будет противостоять нововведениям (техническому перевооружению, реконструкции предприятия, введению новых методов управления и др.).

Поэтому возникли различные организационные формы *программно-целевого* управления:

- *функциональная координация*, при которой в организационную структуру вводится дополнительная структурная единица,

осуществляющая координацию функциональных и линейных подразделений для решения новой научно-технической задачи (как правило, со слабыми правами распорядительства и без выделения дополнительных штатов);

- *проектное* или *программное* управление (как второй крайний предел), при котором после разработки и утверждения проекта его руководитель (главный конструктор) наделяется всеми необходимыми полномочиями для его выполнения и приобретает статус заместителя директора, а иногда и становится над ним (что имело место при организации выполнения космических проектов).

Между этими крайними формами существует спектр организационно-правовых форм с различной степенью влияния программно-целевых принципов на организацию производства и управления.

Программно-целевые органы могут создаваться на время выполнения комплексных программ или на какой-то период деятельности предприятия (организации), могут быть созданы постоянно действующие или временные программно-целевые группы, изменяющие тематику исследований или разработок в рамках какой-то специализации (например, для создания гибких производственных комплексов и других нововведений в технике, технологии и т.д.).

Пример программно-целевой организационной структуры предприятия приведен на рис. 8.9.

Для реализации принципа программно-целевого управления в ней введена должность заместителя директора. В числе программно-целевых подразделений, осуществляющих разработку и внедрение нововведений в техническое обеспечение, новых технологий и т.п. — отдел технического перевооружения и реконструкции предприятия, отдел управления комплексными программами, временные проектные подразделения.

В случае создания программно-целевых органов в оргструктуре предприятия (организации) возможны ситуации, когда им не предоставляется особый приоритет, а осуществляется распределение ресурсов, прав и ответственности между программно-целевой и линейно-функциональной сферами управления с учетом конкретных программ и ситуаций. Решения принимаются на научно-техническом совете предприятия.

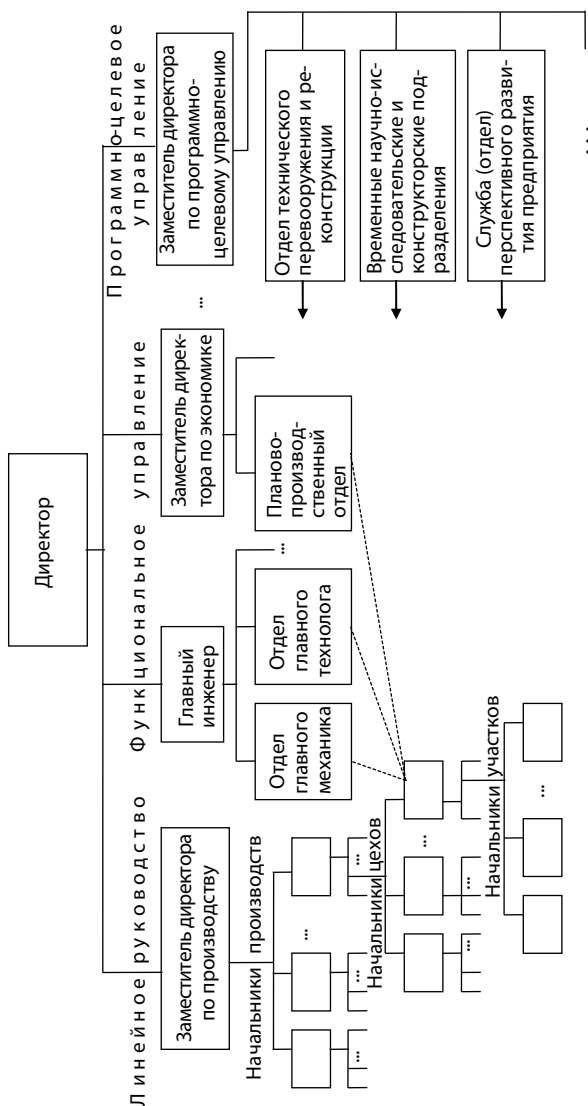


Рис. 8.9

Такие организационные структуры с сочетанием как равноправных трех сфер — линейной, функциональной и программно-целевой — представляют собой наиболее гибкую форму управления, и в практике управления предприятиями получили название *трехмерных матричных структур*.

По мере развития предприятий и научно-производственных объединений и выделения в них (наряду с основными, рассмотренными в качестве самостоятельных) таких сфер, как информационная, социальная и др., возникают *многомерные матричные структуры*, которые иногда называют *тензорными* [96].

В крупных объединениях, включающих несколько предприятий и организаций и делегирующих значительную самостоятельность этим предприятиям, а иногда и отдельным производствам, используется *стратифицированное* представление организационных структур.

Это имеет место, например, в объединении «АвтоВАЗ» (предприятия которого находятся в разных городах, а территория основного из них — ВАЗа — составляет несколько десятков квадратных километров).

Функции разных сфер управления обычно разделены между соответствующими заместителями директора. Для выполнения укрупненных функций формируются отделы, в которых затем могут быть выделены секторы. Исключение составляют только малочисленные подразделения, которые не могут быть объединены с другими в силу их специфики — юридическое бюро (ЮрБ), бюро охраны окружающей среды (БООС).

Пример четырехмерной матричной структуры приведен на рис. 8.10.

Приняты следующие обозначения подразделений организационной структуры:

- в сфере функционального управления главному инженеру подчинены отделы (службы): технической подготовки производства ТПП, включая конструкторскую, технологическую, инструментальную подготовку и управление технической подготовкой производства; отдел технико-экономического планирования ТЭП; оперативного управления основным производством ОУОП (иногда этот отдел включают в сферу линейного управления); отдел труда и заработной платы ТиЗП; отдел управления техническим уровнем и качеством продукции УТУ-

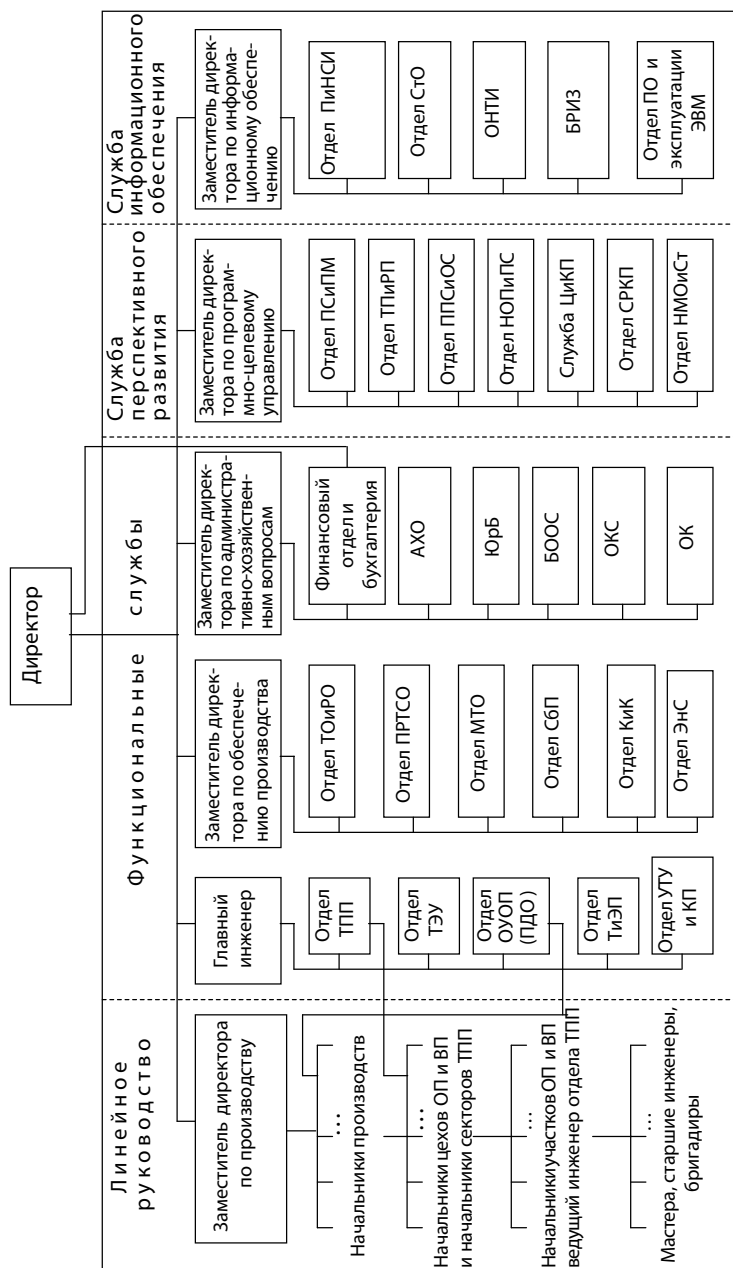


Рис. 8.10

иКП; заместителю директора по обеспечению производства подчинены отдел технического обеспечения, включая техническое обслуживание и ремонт оборудования ТООРО, отдел, выполняющий погрузочно-разгрузочные транспортно-складские операции ПРТСО, отделы материально-технического обеспечения МТО; сбыта продукции СБП, координации и кооперирования КиК и энергоснабжение ЭНС; заместителю директора по административно-хозяйственным вопросам — отдел финансового обеспечения и бухгалтерского учета ФиБУ, который обычно параллельно подчинен непосредственно директору предприятия, службы административно-хозяйственного обеспечения АХО, включая обеспечение текущих административно-хозяйственных работ разного рода; отделы обеспечения капитального строительства ОКС, обеспечения кадрами ОК, юридического обеспечения ЮРО, бюро охраны окружающей среды БООС;

■ в сфере программно-целевого управления выделены: отдел управления производственной специализацией и производственными мощностями ПСиПМ (включая определение перспективной специализации предприятия); отдел технического перевооружения и реконструкции предприятия ТПиРП (включая управление техническим перевооружением и реконструкцией предприятия, разработку проектов реконструкции); отдел проектирования (или совершенствования, преобразования) организационной структуры предприятия ППСиОС (включая анализ целей и функций АЦФ); отдел научной организации производства и производственной структуры НОПиПС; служба разработки целевых и комплексных программ ЦиКП (включая управление выполнением целевых программ, формирование целевых групп или других временных подразделений, управление участием предприятия в выполнении отраслевых, межотраслевых и тп. комплексных программ); отдел социального развития коллектива предприятия СРКП; отдел нормативно-методического обеспечения управления и стандартизации НМОиСТ (включая обеспечение стандартами, необходимыми для организации производства, и нормативно-методическое обеспечение системы организационного управления предприятием);

■ в качестве четвертой сферы на рис.8.10 приведена возможная структура сферы информационного обеспечения: отдел производственной и нормативно-справочной информации ПиНСИ, отдел статистической отчетности СтО, отдел научно-технической информации ОНТИ, бюро (или отдел) рационализаторской и изобретательской деятельности БРИЗ, отдел программного обеспечения ПО и эксплуатации ЭВМ.

Сфера информационного обеспечения предприятием должна взаимодействовать со всеми сферами, организуя сбор, хранение, обработку и представление соответствующей производственной, нормативно-справочной, научно-технической информации в документальной и фактографической формах. Поэтому для удобства иллюстрации взаимодействия сфер иногда ее помещают внизу изображения организационной структуры.

В крупных объединениях, включающих несколько предприятий и организаций и делегирующих значительную самостоятельность этим предприятиям, а иногда и отдельным производствам, используется стратифицированное представление организационных структур.

В условиях рыночной экономики используются эшелонированные формы организационных структур, подобные приведенной на рис. 1.17. В структурах такого вида входящим в объединение структурным единицам предоставляется различная степень самостоятельности и имеет место различная степень координируемости предприятий и организаций, входящих в концерн, акционерное общество и т.п., и различная степень вмешательства в деятельность структурных единиц, находящихся на нижележащих уровнях иерархии такого вида. Этот вид организационных структур используется, например, в холдингах.

В условиях рыночной экономики, особенно при управлении малыми и средними предприятиями применяется форма организации, состоящая из пересекающихся рабочих групп, в которых определенные специалисты играют роль соединительных звеньев (рис. 8.11) — «булавочная цепь».

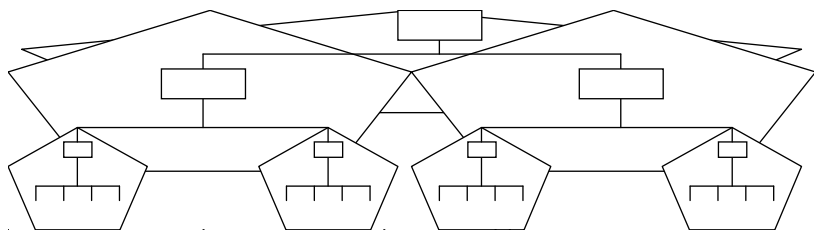


Рис. 8.11

Такая структура состоит из пересекающихся рабочих групп. Каждый руководитель принадлежит к группам двух различных уровней: к группе, состоящей из его подчиненных и к группе, которая включает его начальника.

Эта система управления принимает типичную форму постоянных комитетов, составленных из представителей подразделений, временных целевых комитетов, периодических совещаний представителей «заинтересованных» подразделений. Однако эта организация может оказаться расточительной и медлительной. При этом возникают противоречия между глобальной целью организации и локальными целями рабочих групп. Основным механизмом согласования целей подразделений (рабочих групп) с целями компаний является участие рабочих в управлении.

В случае малого предприятия функции организационного управления могут быть поручены сотрудникам, занимающимся основной (производственной или иной) деятельностью, и определена соответствующая доплата за их выполнение (на основе оценок функций структуры ЦФ, проведенной при выполнении предыдущих этапов).

Аналогичное совмещение функций основной деятельности и организационного управления имеет место в вузе (декан, заместители декана, заведующие кафедрой и т.д. выполняют организационные функции, не прекращая основной преподавательской деятельности).

В случае крупного предприятия можно разрабатывать методику, с помощью которой распределение функций осуществляется поэтапно: вначале — между стратами (при их использовании), или между заместителями директора (президента, ректора, декана и т.д.), а затем — по подразделениям ветвей организационной структуры, которые принимают участие в выполнении соответствующей группы функций.

Методика зависит от конкретных особенностей предприятия (организации). При ее разработке могут использоваться различные подходы и методы.

Подходы к проектированию организационных структур. Накопленный опыт проектирования организационных структур позволяет выделить три подхода к решению этой проблемы: нор-

мативно-функциональный, функционально-технологический и системно-целевой [56]. Они не являются взаимоисключающими, но имеют ряд принципиальных особенностей.

Нормативно-функциональный подход направлен на унификацию организационных форм управления в рамках отрасли. Разработка и внедрение типовых организационных структур — первый шаг на пути внедрения принципов их научно обоснованного построения. Однако ориентация на типовую номенклатуру функций управления и структурных управленческих подразделений не позволяет учесть особенности конкретных предприятий и условия их деятельности, оценить влияние этих особенностей и условий на работу предприятия и на характеристики организационной структуры.

Функционально-технологический подход к формированию организационной структуры основан на рационализации потоков информации и технологии ее обработки. Этот подход обеспечивает возможность достаточно полно учесть особенности конкретного предприятия (организации), отличается гибкостью и универсальностью. Вместе с тем, он характеризуется высокой трудоемкостью, использованием стабильной номенклатуры сложившихся функций управления, подчинением организационной структуры схеме документооборота.

Системно-целевой подход заключается в построении структуры целей, определении на ее основе функций управления и их организационном оформлении. Преимущества этого подхода заключаются в возможности учитывать особенности объекта управления и условия его деятельности, изменять и расширять состав функций, проектировать разнообразные организационно-правовые формы предприятий. Трудности в использовании подхода связаны с проблемой перехода от совокупности целей и функций к составу и подчиненности структурных звеньев, обеспечивающих их реализацию.

В работах [56, 63] предлагается также выделять ряд основных методов: метод *аналогий*, основанный на использовании опыта в организации управления различных предприятий; *экспертный* метод, слабой стороной которого является правомерность сомнений в надежности и объективности экспертных оценок (повысить которую могут помочь методы организации сложных экспертиз); метод *структуризации целей*, для реализации которого в настоя-

щее время имеются методики, позволяющие обеспечивать полноту анализа целей и функций, необходимую для конкретных условий (что было рассмотрено в гл. 5); метод *задач*, который в отличие от метода структуризации («сверху») предполагает определение задач с помощью обследования системы управления и объединение их в более крупные комплексы на основе вводимых мер близости (подход «снизу»), вследствие чего он является более трудоемким и сложным в реализации (что связано с проблемой введения «мер близости»); метод *организационного моделирования*, основу которого составляет использование математических моделей, позволяющих учитывать большее число различных факторов и взаимосвязей между ними.

В [63] дана классификация математических моделей организационных структур, в которой выделены две группы моделей: модели, в которых критерий эффективности организационной структуры отражает конечные результаты деятельности предприятия, и модели, основанные на использовании косвенных критериев эффективности.

Разработанные разными авторами методики совершенствования организационных структур отличаются выбранными подходами и используемыми методами.

Из трех рассмотренных выше подходов к проектированию организационных структур наибольшее распространение в прежних условиях централизованной системы управления страной, ориентированной на типизацию организационных структур предприятий, получил нормативно-функциональный подход, разработанный под руководством *Г. Э. Слезингера*. Он был положен в основу методических рекомендаций НИИТруда. В этом подходе использован метод аналогий, позволяющий обобщать и систематизировать опыт управления передовых предприятий. Для определения характеристик организационной структуры (численности управленческого персонала, числа уровней иерархии и др.) приводятся корреляционные зависимости этих характеристик от ряда факторов. Однако рассчитываемые на их основе нормативы численности работников по функциям управления ориентируют на некоторый сложившийся уровень организации управления в отрасли. Фактическая же численность управленческих работников на конкретном предприятии в силу его специфики может существенно отличаться от нормативной. Кроме того, в Методических указаниях

по разработке укрупненных нормативов численности и типовых структур аппарата управления промышленным предприятием¹ предлагается «жесткая» система классификации функций управления, в рамках которой трудно учесть особенности конкретного предприятия и которая сдерживает развитие системы управления предприятием.

Нормативный подход не связывает решение задачи формирования организационной структуры с целями предприятия (организации). Это обеспечивает системно-целевой подход, разработанный под руководством **Б. З. Мильнера** [56 и др.]. Этот подход был положен в основу общепромышленных научно-методических рекомендаций по формированию организационных структур. Для его реализации нужно разработать методику структуризации целей и функций, учитывающую специфику предприятия, методику расчета объема управленческих работ по функциям управления, решить проблему перехода от структуры целей и функций к структуре органов управления.

В условиях проектирования принципиально новых предприятий, при существенном изменении требований среды в новых экономических условиях, появлении новых прав (например, на заключение любых договоров на изготовление и реализацию продукции, а также на ее свободную реализацию, права преобразовывать свою организационную структуру без ориентации на типовые структуры), появлении в связи с этими изменениями необходимости выполнения системой управления принципиально новых функций (таких, например, как маркетинг, мониторинг, преобразования организационной структуры и т.д.) системно-целевой подход предпочтительнее нормативно-функционального и функционально-технологического.

Нормативно-функциональный подход не содержит метода проектирования собственно организационной структуры (ее вариантов) для новых условий деятельности предприятия. Функционально-технологический подход, основанный на применении метода структуризации задач, удобен в условиях действующего предприятия, позволяет лучше других сохранить конкретные особенности функционирования системы управления и считается неприемлемым для проектирования новых предприятий.

¹ Методические указания изданы НИИ труда в 1967 г.

Однако работы *С. А. Валуева* и *В. И. Самофалова* (см. ссылки в [10]) показали, что если соединить преимущества функционально-технологического подхода с системно-целевым, применив последний на начальном этапе проектирования и проведя затем более тщательное моделирование организационно-технологических процедур (ОТП) по функциям управления, то получаемые методики позволяют не только обосновать корректировку существующих организационных структур, но и разрабатывать варианты новой организационной структуры для проектируемого предприятия. Проводить анализ организационно-технологических процедур подготовки и реализации управленческих решений в более сжатые сроки без утраты полноты анализа помогает автоматизация процесса формирования вариантов оргтехпроцедур, для чего далее будет предложен язык автоматизации моделирования ОТП.

Из рассмотренных методов проектирования организационных структур наибольший интерес вызывает метод организационного моделирования. Остановимся на нем несколько подробнее.

Модели первой группы из выделенных в классификации, предложенной в [63], немногочисленны и в основном носят абстрактный характер, что объясняется принципиальными трудностями, возникающими при установлении формальных зависимостей между показателями конечного эффекта функционирования предприятия и характеристиками организационной структуры. Проблемой при использовании оптимизационных методов является формирование критериев эффективности построения и функционирования организационной структуры.

Например, в общеотраслевых научно-методических рекомендациях по формированию организационных структур объединений и предприятий указывалось, что критерий эффективности организационной структуры должен строиться на основе конечных технико-экономических показателей деятельности предприятия, но при этом не предлагалось способа оценки влияния структурных сдвигов в системе управления на конечные результаты его деятельности.

Выявить зависимости между организационной структурой и эффективностью производства крайне трудно. Еще более сложной задачей является формализация этих взаимосвязей. Поэтому эффективность организационной структуры чаще всего оценивается на основе локальных критериев косвенного характера: число

уровней иерархии, минимизация взаимодействия структурных управленческих звеньев, затраты на содержание аппарата управления и т.д.

В ряде работ предлагается для оценки эффективности организационной структуры использовать комплексный критерий качества (см. ссылки в работах [10, 11]). Например, набор показателей эффективности включает оценку производительности, экономичности, адаптивности, оперативности и надежности структуры.

На практике, как правило, ограничиваются критерием экономичности, так как методов определения других оценок эффективности до недавнего времени не было. Однако в существующих методиках экономичность, как правило, отражает лишь затратную часть эффективности, не принимая во внимание результаты, что может привести к увеличению скрытых затрат на содержание аппарата управления, например, в связи с необоснованным сокращением численности управленческого персонала.

Наиболее полный комплексный критерий качества предложен *Л. А. Базилевичем* (см. ссылки в работах [10, 11]). Этот критерий представляет собой упорядоченную совокупность частных критериев, которая позволяет обосновать их выбор, разработана методика сведения частных критериев в комплексный, характеризующий оргструктуру с точки зрения производительности, экономичности и социального развития.

Анализ проблемы проектирования организационных структур, подходов и методов, предлагаемых разными авторами для ее решения, позволяет сделать вывод о том, что задача проектирования (совершенствования) организационной структуры не может быть полностью формализована, это качественно-количественная проблема, для решения которой следует сочетать методы формализованного представления систем и методы активизации интуиции и опыта специалистов, что обусловлено сложностью задачи, необходимостью учета большого числа разнородных факторов, в числе которых много трудноформализуемых.

Для полноты учета этих факторов целесообразно сочетать методы структуризации целей и организационного моделирования, которые дополняют друг друга, обеспечивая возможность анализа качественных и количественных характеристик: метод структуризации целей позволяет определить состав и содержание функций управления с учетом внешних и внутренних условий деятельности

предприятия, а также обеспечить полноту анализа факторов, характеризующих эти условия и влияющих на объем работ по управлению; с помощью метода организационного моделирования можно количественно оценить степень этого влияния и перейти от структуры целей и функций к структуре органов управления.

Анализ большого количества факторов, влияющих на организационную структуру, позволяет осуществить метод имитационного динамического моделирования, который позволяет учесть и исследовать влияние различных факторов и изменение этого влияния во времени.

В частности, возможности имитационного динамического моделирования были исследованы в работах *М. И. Старовойтовой* (см. в [10, 81]) применительно к моделированию оргструктуры проектируемого предприятия будущего с гибкой автоматизированной технологией.

Методика проектирования организационных структур систем управления. На основе приведенного анализа существующих подходов к проектированию (совершенствованию) организационных структур и методик, сочетающих подходы и использующих различные методы, разработана обобщенная методика проектирования организационной структуры (рис. 8.12), которая может быть использована для разработки частных методик для конкретных предприятий (организаций).

В приведенной на рис. 8.12 обобщенной методике проектирования организационных структур предусмотрена возможность использования разных методов и моделей и выбор метода с учетом конкретных условий и предпочтений ЛПР, используется сочетание системно-целевого и функционально-технологического подходов.

Традиционно совершенствование системы управления и ее организационной структуры начинают с обследования существующей или аналогичных (так, например, осуществлялась корректировка организационной структуры при внедрении АСУ). При этом преобладал нормативно-функциональный подход, и результатом являлась, в основном, корректировка численности и состава подразделений аппарата управления. При существенных преобразованиях предприятия, переходе к новой организационно-правовой форме, значительных изменениях во взаимоотношениях со средой в условиях внедрения рыночных принципов экономики и т.д., необходимо не только принимать решения по корректировке собственно

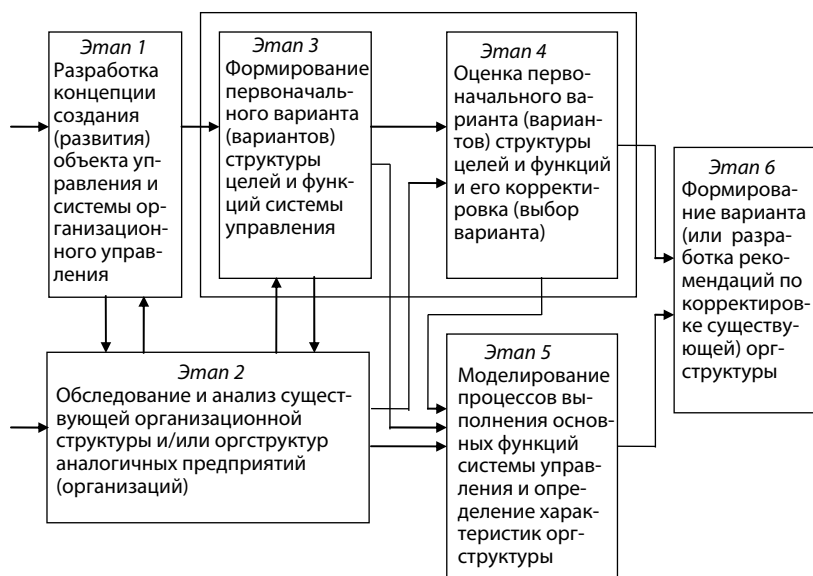


Рис. 8.12

организационной структуры, но и проводить анализ влияния тех или иных функций, выполняемых подразделениями, на достижение целей предприятия в новых условиях.

Поэтому в рассматриваемой обобщенной методике в качестве первого этапа предлагается принять не этап обследования (хотя он тоже предусмотрен и может выполняться параллельно), а этап разработки концепции развития (создания) объекта управления и его системы управления (*этап 1*). При разработке концепции должны быть решены вопросы о роли организационной структуры, выборе ее формы, о принципах проведения преобразований (например, может быть принят так называемый «нулевой» вариант, при котором предусматривается по возможности минимальное сокращение численности (что может потребоваться при предоставлении производственным подразделениям большей самостоятельности и уменьшения степени централизации управления) за счет переориентации высвобождающихся сотрудников на новые функции (например, связанные с изменением взаимодействия предприятия со средой маркетинг, с анализом факторов, влияющих на функционирование предприятия и т.п.).

Основными методами, которые могут использоваться при разработке концепции, являются методы активизации интуиции и опыта специалистов: различные формы мозговой атаки (создание комиссий, обсуждение на директоратах, ученых и научных советах и т.д.), подготовки вариантов концепции в форме сценария. В необходимых случаях, особенно при проектировании новых предприятий, могут быть использованы методы организации сложных экспертиз, кластерного анализа факторов.

После разработки концепции может быть проведено обследование существующей или аналогичных систем управления (*этап 2*). Обследование можно проводить параллельно с разработкой концепции, особенно, если ЛПР испытывают затруднения при выполнении *этапа 1*.

При обследовании обычно использовались *архивный* (на основе анализа документов существующей системы управления) и *опросный* (путем анкетирования или интервьюирования работников аппарата управления) методы. В обоих случаях и при сочетании подходов представления, получаемые о системе управления, отражают мнения (зафиксированные в документах или высказываниях в устной форме) о ней работников аппарата управления. Однако опыт таких обследований показал, что они связаны не только со значительными затратами труда и времени, не только с плохой согласованностью результатов обследования, получаемых разными исследователями, но и с тем, что результаты отражают мнения работников аппарата управления данной организации, т.е. заинтересованных лиц, и это является основным недостатком архивного и опросного методов. Дело в том, что при локальном анализе функций всегда можно обосновать их полезность, а исследование иерархических структур показывает, что выделенные ветви имеют тенденцию к самосохранению, т.е. при создании новых подразделений (или должностей) следует иметь в виду, что они будут стремиться искать работу, повышать значимость своих функций.

Учитывая недостатки пассивных методов обследования (архивного и опросного), может быть использован *активный* подход, основанный на принятой концепции, а в дальнейшем обследование может уточняться после формирования структуры целей и функций системы управления с использованием автоматизированной процедуры, базирующейся на полученной структуре

функций. Эта структура, помогающая организовать опрос, как бы накладывается на существующую систему управления и ее организационную структуру и выявляется возможность выполнения этой организационной структурой функций, включаемых в структуру ЦФ. При проведении активного обследования могут использоваться верхние уровни структуры целей, когда ее разработка полностью не завершена, в свою очередь, обращение к результатам обследования может помочь в формировании нижних уровней этой структуры.

Таким образом, *этапы 1, 2 и 3* взаимосвязаны между собой и могут выполняться параллельно (см. рис. 8.12).

Этапы 3 и 4 (см. рис. 8.12) аналогичны *этапам 1 и 2* методики формирования и анализа структур ЦФ, приведенной на рис. 5.22, но с большей детализацией функций, поскольку их надо связать с конкретными исполнителями.

На практике обычно при применении комплексной методики (см. рис. 5.22) структура целей и функций формируется до 3—4 уровней, т.е. до уровня укрупненных функций, а при выполнении рассматриваемого этапа осуществляется детализация структуры по ветвям до 6—7 уровней. При выполнении этапа 4 подэтап 2.2 на рис. 5.22 можно не выполнять (в данном случае форма структуры не важна, важна только полнота состава функций), и этот подэтап заменяется подэтапом распределения функций между уровнями системы управления (стратами, компонентами эшелонированной структуры), число и вид которых зависит от конкретных условий и определяется на этапе разработки концепции организационной структуры.

Получив множество детализированных функций после выполнения *этапов 3 и 4*, в принципе можно перейти к формированию и анализу вариантов организационной структуры, принимая различные способы оценки трудоемкости функций (от экспертной до нормативной), ища «меры близости» между ними для объединения в подразделения или распределяя функции по подразделениям существующей (либо предлагаемых вариантов) организационной структуры (*этап 6*).

Однако для крупных предприятий и организаций (или при создании новых) целесообразно предварительно разработать модели, на основе которых можно уточнить трудоемкость выполнения функ-

ций, затраты на организацию их выполнения и другие характеристики, необходимые для формирования и оценки вариантов организационной структуры, т.е. перейти к выполнению *этапа 5*.

Возможные методы моделирования охарактеризованы ранее. При проектировании новых предприятий наиболее предпочтительными из этих методов являются имитационное динамическое моделирование и анализ организационно-технологических процедур.

При применении имитационного динамического моделирования в соответствии с разработанной идеологией процесса формирования и анализа ИДМ предполагается выполнение следующих подэтапов: анализ вербального описания (концепции) системы управления и факторов, влияющих на организационную структуру, и определение на этой основе экзогенных и эндогенных переменных модели; построение диаграммы причинно-следственных связей, определение их полярностей и контуров, и выделение среди переменных уровней и темпов; построение на основе диаграммы причинно-следственных связей диаграммы потоков и уровней; перевод диаграммы потоков и уровней в математическую форму, т.е. написание конечно-разностных уравнений динамики модели; проведение машинных экспериментов с использованием одного из языков имитационного моделирования (предпочтительно — специализированного языка *DYNAMO*), включая верификацию модели и получение зависимостей одних факторов от других; анализ результатов моделирования.

Наибольшую сложность при разработке ИДМ применительно к моделированию характеристик оргструктуры представляет определение показателей, оценивающих объем работ, степень их сложности, для чего используются нормативы, среднестатистические данные и экспертные оценки, а их сочетание повышает объективность результатов моделирования по сравнению с чисто экспертными методами оценки.

Имитационное динамическое моделирование сочетает удобный для человека графический язык формирования диаграммы причинно-следственных связей и развитые программные средства для анализа уравнений ИДМ, т.е. средства МАИС и МФПС, и является по сути методикой перевода словесного описания в формальную математическую модель.

Однако процесс формирования и анализа ИДМ трудоемок и требует участия специалистов различных областей знаний.

Кроме того, экспериментальные применения этого вида моделирования для предприятий и организаций небольшого объема показали, что для такого вида объектов оно является избыточным и получаемые результаты иногда довольно тривиальны.

Формирование и анализ организационно-технологических процедур (ОТП) подготовки и реализации управленческих решений позволяет наиболее точно из всех подходов к моделированию отразить процессы в существующей системе управления (или проектные варианты выполнения функций в создаваемой системе) и оценить трудоемкость их реализации, затраты и другие показатели, влияющие на выбор варианта организационной структуры. Однако процесс формирования этих процедур весьма трудоемок. Поэтому для реализации функционально-технологического подхода полезно разрабатывать автоматизированные процедуры моделирования ОТП (для действующих предприятий) или языки автоматизации моделирования (ЯАМ) ОТП (для вновь создаваемых).

Эта проблема требует более подробного рассмотрения, базируется на нормативно-методическом обеспечении — НМО), и будет подробнее рассмотрена в отдельном разделе, после рассмотрения принципов создания системы НМО.

При совершенствовании существующих организационных структур иногда достаточно применения экспертных методов с использованием в качестве экспертов групп, сформированных с учетом закономерности коммуникативности (т.е. пространства сложной среды).

Экспертный опрос можно организовать в несколько этапов: вначале опросить сотрудников существующей системы управления, положив в основу опросных анкет структуру целей и функций, разработанную при выполнении *этапов 3 и 4*; затем отобрать из этих анкет функции, касающиеся непосредственно подведомственных подразделений и составить опросные анкеты для этих подразделений с тем, чтобы они оценили необходимость (или степень) централизованного регулирования по этим функциям; одновременно отобрать из положений о подразделениях аппарата управления взаимосвязи между ними и представить их для взаимной оценки; из полученных результатов опроса отобрать разногласия в оценках и их предъявить руководству предприятия

(комиссии ЛПР) для принятия решений об устранении дублирования функций, согласовании точек зрения разных подразделений аппарата управления и их — с мнениями производств и цехов. При принятии этих решений можно учесть опыт других предприятий, отраженный в различных источниках НТИ, и требования НПД.

Если после проведения согласования не удастся получить согласованные мнения, то по функциям, по которым остались разногласия, можно сформировать и проанализировать ОТП. Для отбора разногласий, получения суммарных оценок трудоемкости, выявления взаимосвязей разрабатываются автоматизированные процедуры.

Последний этап — формирование вариантов организационных структур и выбор наилучшего (*этап 6*). При его выполнении необходимо сгруппировать функции управления таким образом, чтобы распределить их по подразделениям организационной структуры, создаваемым (или существующим) для их выполнения.

В случае проектирования новых предприятий рекомендуется вводить меры связности («меры близости») функций и формировать подразделения на основе выбранных принципов связности. При оценке связности можно использовать экспертные процедуры, теорию графов, классификационный подход. Такие подходы — весьма трудоемки, и сложно доказывать правомерность и объективность выбора «мер близости».

Одним из методов, способствующих повышению объективности оценок связности, является метод комбинаторной топологии, и в частности, кратко рассмотренный в гл. 2 метод, основанный на понятии симплициального комплекса *Дж. Касты* [40] (см. параграф 2.5), который позволяет получить информацию о возможных вариантах объединения элементов в группы, количественные оценки связности элементов и их значимости для системы не путем прямой экспертной оценки, а на основе матрицы инцидентий, описывающей связи между функциями управления и формируемой по результатам экспертных процедур, достаточно простых в данном методе и требующих от эксперта оценок в форме «да» — «нет», преобразуемых затем, после предусмотренной обработки, в более дифференцированные оценки эксцентриситета. Однако такой подход также достаточно трудоемок и редко применяется на практике.

В случае корректировки существующей организационной структуры обычно за основу берут существующую, распределяют по ее

подразделениям новые функции (рис. 8.13), выявляют функции, не выполняемые существующими подразделениями (обозначены на рис. 8.13 знаком «—»), уточняют положения о подразделениях или при необходимости изменяют их наименования, делят перегруженные, пересматривают распределение подразделений по подчиненности заместителям директора.

Такой подход в принципе можно применить и при создании новых предприятий, формируя варианты их организационной структуры на основе анализа действующих предприятий и рекомендаций, накопленных в теории разработки оргструктур, и в частности, можно выбрать вид оргструктуры, используя сведения о видах оргструктур (линейная, функциональная, программно-целевая, матричная), предложить варианты оргструктуры, распределить функции по подразделениям оргструктуры (для чего можно применить АДПАЦФ).

В состав *этапа 6* должен входить также подэтап сравнительного анализа вариантов оргструктуры с точки зрения ее формы.

Организационная структура создается, для того чтобы руководитель мог сохранять целостное представление о системе управле-

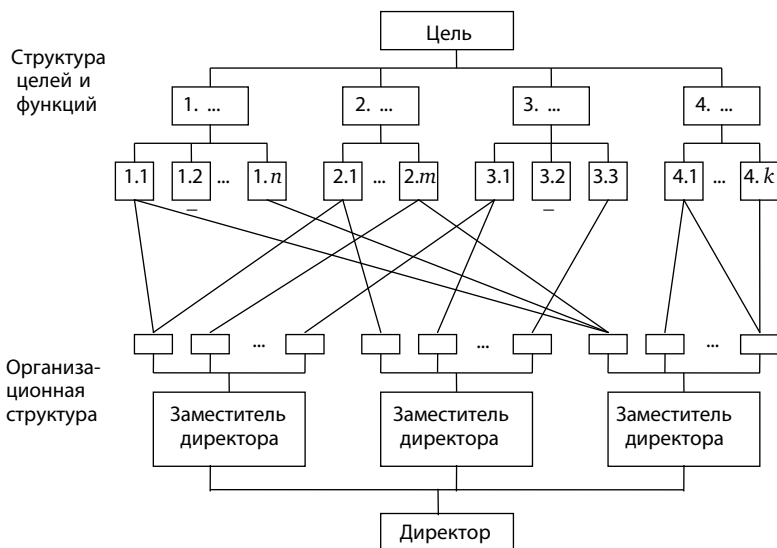


Рис. 8.13

ния. Для обеспечения этого оргструктура должна обладать рядом требований (основные из которых кратко рассмотрены в гл. 1):

- подразделения оргструктуры должны обеспечивать выполнение всех необходимых функций управления;
- расчленение на каждом уровне должно быть соразмерным, а выделенные части логически независимыми; исследования показали, что равномерно структурированные системы обладают большей целостностью и устойчивостью;
- число уровней во всех ветвях должно быть одинаковым (вытекает из предыдущего требования, но выделено в силу его особой значимости для организации эффективного управления);
- признаки декомпозиции (структуризации) в пределах одного уровня (или, по крайней мере, узла) должны быть едиными; это обеспечивает лучшую управляемость;
- в структуре не должно быть так называемых «вырожденных» ветвей, т.е. ветвей, которые не расчленены хотя бы на две составляющие, поскольку в противном случае подчиненные друг другу неразветвленные ветви практически дублируют друг друга, снижая эффективность системы управления;
- число уровней иерархии и число компонентов в каждом узле должно быть (в силу гипотезы Миллера или числа Колмогорова) $K = 7 \pm 2$; невыполнение этого требования затрудняет принятие решений; содержательно требования этой гипотезы можно объяснить ограничением возможностей оперативной памяти человека, его способностью анализировать в оперативной памяти не более 7 ± 2 составляющих и связей между ними (порядка 140). Исследования оргструктур крупных корпораций в США показали целесообразность даже нижней границы — 5.

Приведенные требования не всегда совместимы (что связано с особенностями конкретных организаций), и на практике нужно искать компромиссы. Однако по возможности следует стремиться к их выполнению и сравнивать предлагаемые варианты оргструктуры с точки зрения выполнения этих требований.

Особое внимание следует обращать на сравнительный анализ оргструктур с точки зрения обеспечения целостности и устойчивости, с одной стороны, и предоставления свободы в проявлении инициатив работникам предприятия, с другой, т.е. оценке вариантов оргструктуры с точки зрения централизации — децентрализации управления. Пример подхода к оценкам целостности системы и степени свободы проявления свойств ее элементов приведены далее.

Сравнительная оценка целостности вариантов оргструктуры.

Основная проблема повышения эффективности управления в условиях многоукладной экономики — поиск путей достижения компромисса между саморегулирующимися рыночными механизмами и централизованным регулированием — имеет место на любом уровне управления (общегосударственном, региональном). Аналогичная проблема централизации — децентрализации управления усложняет управление любым предприятием, любой научно-исследовательской или иной организацией. Поэтому при формировании оргструктуры полезно предусмотреть информационные оценки степени целостности α и коэффициента использования компонентов системы β , которые можно интерпретировать как оценки устойчивости оргструктуры при предоставлении свободы субъектам деятельности или как оценки степени централизации — децентрализации управления (см. гл. 3).

При разработке оргструктуры могут быть получены различные варианты. Принимаемое на начальном этапе разработки выделение сфер управления помогает обеспечить полноту анализа, но затем в реальных условиях с учетом сокращения численности управленческого персонала четкое выделение сфер может быть нарушено.

Например, на рис. 8.14 приведены варианты оргструктуры относительно небольшого предприятия *а*, *б*, *в*. Сравнивая эти варианты с точки зрения централизации — децентрализации управления (см. принципы оценки в гл. 3, рис. 3.3), получим следующие результаты.

Пример

При одинаковом числе подразделений нижнего уровня для всех вариантов системная сложность одинакова

$$C_c = \log 14 = 3,82.$$

Собственная и взаимная сложность:

для варианта рис. 8.14, а

$$C_o^a = \log 6 + 2 \log 3 + \log 5 = 8,14 \text{ бит}^2; C_B^a = -4,32;$$

для варианта рис. 8.14, б

$$C_o^b = \log 2 + 2 \log 7 = 6,6 \text{ бит}^2, C_B^b = -2,78;$$

для варианта рис. 8.14, в

$$C_o^e = 2 \log 4 + \log 2 + \log 3 + \log 5 = 8,94 \text{ бит}^2, C_B^e = -5,12.$$

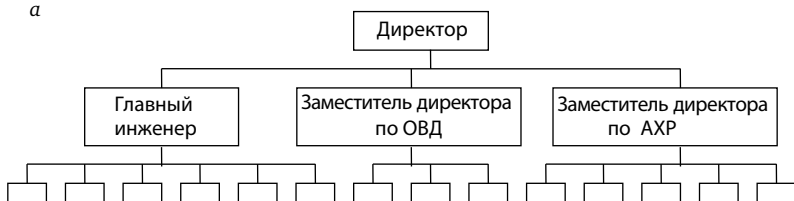
Тогда

$$\alpha^a = 4,32/8,14 = 0,53, \quad \beta^a = 0,47;$$

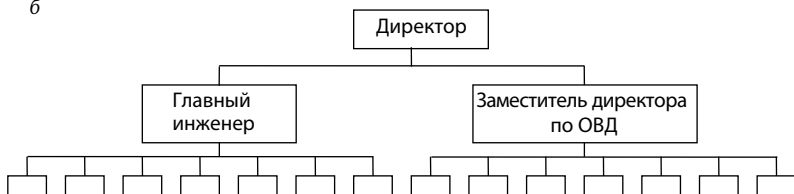
$$\alpha^b = 2,78/6,6 = 0,42, \quad \beta^b = 0,58;$$

$$\alpha^e = 5,12/8,94 = 0,57, \quad \beta^e = 0,43.$$

а



б



в

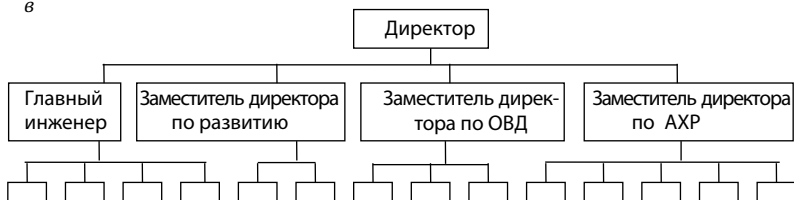


Рис. 8.14

Количественные различия коэффициентов целостности α и степени использования элементов β , как и следовало ожидать, небольшие, поскольку обе структуры двухуровневые и мало отличаются друг от друга. Однако, как отмечалось в гл. 5, оценки являются основой для сравнительного анализа, и даже небольшие различия со временем могут существенно повлиять на результаты деятельности предприятия.

Поэтому можно сделать вывод, что исходная структура (рис. 8.14, а) обеспечивает большую централизацию управления, а преобразованная структура (рис. 8.14, б) — предоставляет большую свободу структурным подразделениям.

Соответственно в ситуации, когда руководитель хочет ввести более демократичные принципы управления, следует выбрать вторую структуру (см. рис. 8.14, б). Напротив, если начался распад предприятия и необходимо повысить его устойчивость, то следует выбрать исходную структуру (см. рис. 8.14, а), хотя она и требует введения должности еще одного заместителя директора.

При преобразовании оргструктур действующих предприятий полезно использовать подход, предложенный в [96], основу которого составляет представление первоначального варианта преобразуемой структуры в форме *тензорной (многомерной)*, с выделением в качестве самостоятельных сфер новых областей деятельности, которые определяются на основе предварительного анализа структуры целей предприятия и выявления наиболее значимых новых функций.

При этом (особенно в случае увеличения числа таких сфер) после проведения тщательного анализ функций по выделенным сферам, проводится сопоставление этих функций (с использованием моделирования ОТП) с функциями подразделений действующей оргструктуры с целью выявления близости и возможности переориентации подразделений линейно-функциональной структуры на выполнение новых функций, и по результатам такого анализа корректируются функции действующих подразделений, а новые создаются только по функциям, принципиально отличающимся от существовавших. Такой подход позволяет сочетать достоинства системно-целевого и функционально-технологического подходов, не разрушая действующей оргструктуры, а обеспечивая ее корректировку с учетом новых условий функционирования предприятия, что особенно актуально в условиях постоянно изменяющейся рыночной среды.

8.5. Система нормативно-методического обеспечения управления предприятием (организацией)¹

Общая характеристика системы нормативно-методического обеспечения управления предприятием (СНМОУ). СНМОУ должна регламентировать деятельность подразделений и всех исполнителей управленческих функций. Эта система содержит нормативно-правовые, нормативно-методические, нормативно-технические и организационно-распорядительные документы (НПД, НМД, НТД и ОРД), которые обеспечивают реализацию принятых проектных и управленческих решений при создании и в процессе функционирования предприятия (организации).

При создании СНМОУ следует иметь в виду, что методика проектирования предприятия и его СОУ (см. рис. 8.1) используется не только при организации процесса проектирования предприятия, но и в дальнейшем для его развития и обеспечения адаптации в постоянно изменяющихся рыночных условиях.

Поэтому СНМОУ, наряду с нормативно-методическими и нормативно-техническими документами, регламентирующими все основные и обеспечивающие виды деятельности предприятия, должна содержать нормативно-методические документы для реализации всех этапов методики.

В СНМОУ должны входить: НПД (законы, постановления и другие нормативно-правовые акты), определяющие возможность создания и условия функционирования предприятия (организации); НМД, НТД и ОРД, обеспечивающие организацию производственной деятельности; НМД и НТД, обеспечивающие обновление структуры целей и функций системы управления (разработку основных направлений развития предприятия, комплексных программ, классификаторов функций); корректировку оргструктуры, перераспределение функций между уровнями системы управления и подразделениями оргструктуры, а также регламентирующие их деятельность (СТП, положения о подразделениях, должностные инструкции и другие документы), регламентирующие оперативное управление функционированием предприятия; НМД и НТД,

¹ Разработка методики проектирования СНМОУ проводилась совместно с начальником бюро организации управления АО «Электросила», д-ром экон. наук., проф. Г. П. Чудесовой в 1992 г.

регламентирующие разработку и функционирование СНМОУ, ее обновление, контроль исполнения НПД, НМД, НТД и ОРД, в нее входящих. Для уточнения состава документов целесообразно использовать методики структуризации и, в частности, — «пространство инициирования целей» (см. пример на рис. 8.1). Конкретные виды НМД, НТД, ОРД, а также их процентное соотношение не зависят от особенностей конкретного предприятия (организации) и определяется в процессе проектирования СНМОУ. С более подробной характеристикой СНМОУ можно познакомиться в [96].

Пример последовательности разработки СНМОУ приведен в верхней части рис. 8.15, иллюстрирующего принципы разработки автоматизированной системы нормативно-методического обеспечения управления (АСНМОУ).

Все нормативные документы необходимо регулярно обновлять, и при внесении в них изменений вносить соответствующие изменения во все взаимосвязанные с корректируемым документы, что и должна обеспечивать СНМОУ предприятия (организации). В противном случае может возникнуть дублирование функций несогласованности в работе подразделений предприятия. Поэтому нужна система классификации и кодирования (СККИ), объединяющая все документы в единую систему.

Гарантировать полноту отражения в СНМОУ всех документов и взаимосвязей между ними (и подразделениями предприятия), своевременно корректировать НТД и НМД, обеспечивать их согласование между собой и с соответствующими НПД, обеспечивать необходимой информацией управленческих работников подразделений различных уровней системы управления и консультации руководителей подразделений и сотрудников, желающих принимать активное участие в управлении предприятием (что особенно важно в условиях перехода к новым экономическим принципам управления и предоставления большей самостоятельности подразделениям) практически невозможно без автоматизации учета, хранения и поиска нормативно-правовой, нормативно-методической и нормативно-технической информации. Иными словами, реализовать СНМОУ без автоматизации крайне сложно. Поэтому для современного предприятия (организации) любой организационно-правовой формы СНМОУ необходимо создавать как автоматизированную систему — АСНМОУ.

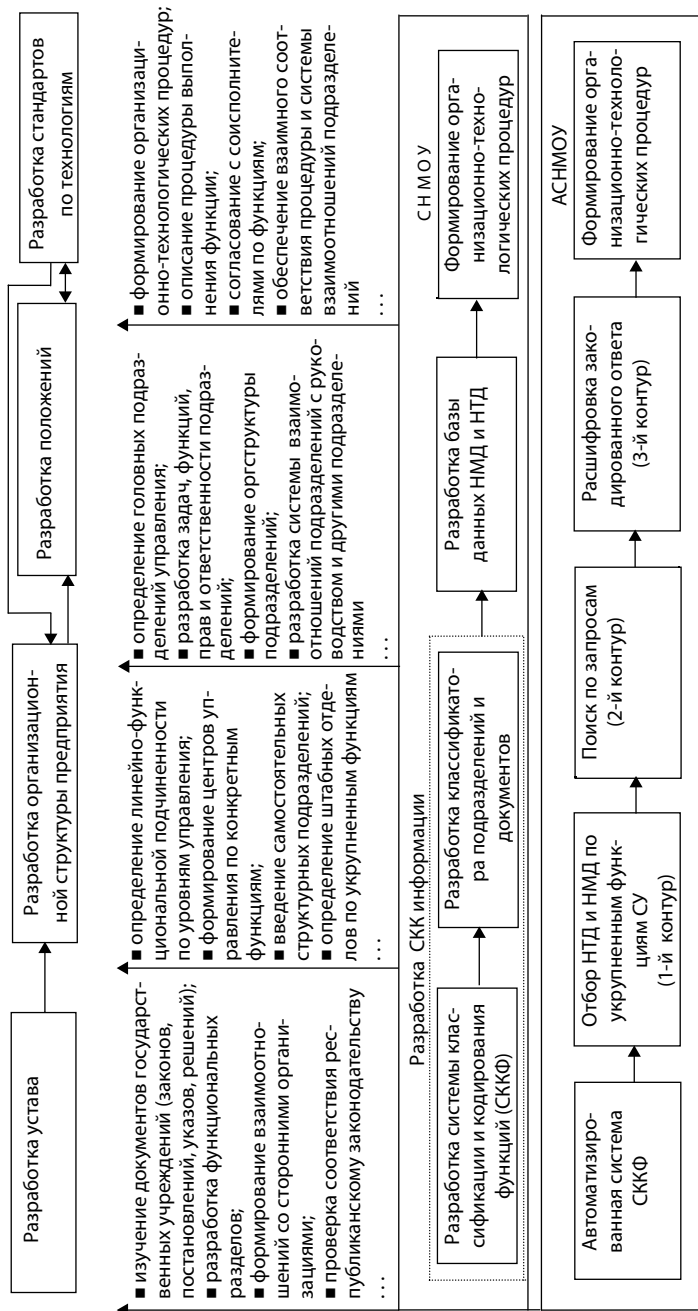


Рис. 8.15

8.6. Информационные модели производственных систем

Организация производственных процессов — обширная область, для исследования проблем которой разработаны разнообразные модели, базирующиеся на применении методов математического программирования, статистических методов. Этим проблемам посвящено значительное число монографий и учебников по организации производства. В то же время методы теории систем и системного анализа позволяют в ряде случаев учесть больше реальных особенностей производственных ситуаций.

Изложенный в гл. 3 информационный подход к моделированию систем позволяет в реальных условиях уточнить алгоритм или упростить и ускорить процедуру поиска решения. В частности, это касается двух рассматриваемых ниже классов задач.

Цепи массового обслуживания. К таким цепям могут быть сведены как чисто производственные (технологические) процессы, так и процессы обработки документации (информации) в заводоуправлениях и вычислительных комплексах. Обычно потоки заказов (требований) на обслуживание в таких цепях принимаются пуассоновскими (описываются законом Пуассона), т.е. без учета последствий, а сами цепи рассматриваются как марковские, что справедливо лишь в весьма ограниченном числе случаев.

Правда, иногда реальные потоки удается свести к потокам Эрланга, отражающим более широкий класс явлений, однако и это не позволяет делать широкие обобщения, поскольку относится хотя и к большему числу, но все же частных случаев.

Между тем, простейший (пуассоновский) поток с интенсивностью λ характеризуется экспоненциальным распределением плотности вероятности

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

которая в информационных терминах представляет собой материальный (информационный) ток $I = f(t)$ в цепи (рис. 8.16, а), где сущность $H = 1$, сопротивление $\tau = 1/\lambda$, а емкость $n = 1$.

Уравнение такой цепи

$$H = I\tau + \frac{1}{n} \int Idt \quad (8.2)$$

при начальных условиях $I(0) = H/\tau = \lambda$ имеет решение, совпадающее с пуассоновским распределением.

Однако полная минимальная информационная цепь, как было показано, кроме сопротивления τ и емкости n , обладает еще и ригидностью L , в которой выражается ее последствие (рис. 8.16, б). Кроме того, и емкость n , характеризующая неординарность потока, может иметь в общем случае значение, отличное от единицы. Уравнение (8.2) для такой цепи преобразуется в следующее:

$$H = I\tau + \frac{1}{n} \int Idt + LdI/dt. \quad (8.3)$$

При начальных условиях $I(0) = 0$ и $dI(0)/dt = H/L = 1/L$ оно имеет решение

$$2\lambda t/T \exp(-t/T) \text{ при } \delta \leq 1;$$

$$\frac{2\lambda\delta}{\sqrt{\delta^2-1}} \operatorname{sh} \frac{t\sqrt{\delta^2-1}}{T} \exp(-\delta t/T) \text{ при } \delta > 1,$$

где $\delta = \sqrt{n/L} / 2\lambda$; $T^2 = nL$; $L = (\tau^2 - D) / 2$; D — дисперсия промежутка времени между заявками.

Таким образом, уравнение (8.3) и его решения аппроксимируют широкий класс пакетов заявок с различными интенсивностями λ и дисперсиями D , включая, конечно, и пуассоновский поток, для которого

$$D = (1/\lambda)^2 = \tau^2 \text{ и } n = 1.$$

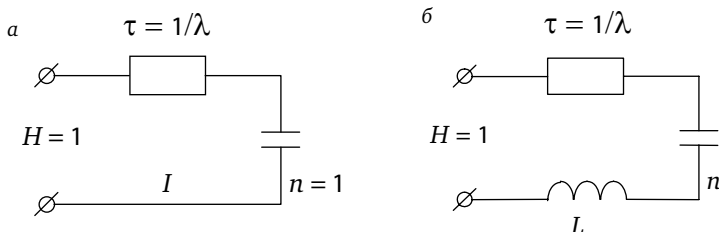


Рис. 8.16

В результате описание широкого класса систем массового обслуживания с последствием и неоднородностью сводится к системе уравнений типа (8.3), отличающихся от обычно применяющихся в марковских цепях уравнений Колмогорова слагаемыми LdI/dt .

Например, если граф состояний простейшей системы массового обслуживания имеет вид, показанный на рис. 8.17, а, то, по Колмогорову, для марковской цепи имеем $p_0 + p_1 = 1$, $dp_0/dt = -\lambda p_0 + \mu p_1$, где p_0 — вероятность того, что система свободна; p_1 — вероятность того, что система занята; λ, D_λ — интенсивность и дисперсия потока их выполнения.

При тех же условиях, но в цепях с последствием и произвольными потоками появляются еще псевдосостояния, поскольку передаточная функция цепи на рис. 8.17, б приводится к произведению передаточных функций цепей на рис. 8.17, а при условии $\tau = \tau_1 + \tau_2$ и $\lambda = \tau_1 \tau_2$.

Таким образом, имеем

$$dp'_0/dt = \lambda_1 p'_0 + \mu_2 p''_1;$$

$$p'_1 + p''_1 = p_1;$$

$$dp''_0/dt = -\lambda_2 p''_0 + \lambda_1 p'_0;$$

$$dp'_1/dt = -\mu_1 p'_1 + \lambda_2 p''_0;$$

$$p'_0 + p''_0 = p_0, p_0 + p_1 = 1,$$

$$\text{где } 1/\lambda = 1/\lambda_1 + 1/\lambda_2; \lambda_1 \lambda_2 (1 - \lambda^2 D_\lambda) = 2\lambda^2,$$

$$1/\mu = 1/\mu_1 + 1/\mu_2; \mu_1 \mu_2 (1 - \mu^2 D_\mu) = 2\mu_2.$$

Эти соотношения, подобные уравнениям Колмогорова, справедливы для любых дисперсий в пределах $\lambda^2 D_\lambda \geq 0,5$, а не только $\lambda^2 D_\lambda = 1$, как в простейшем потоке. Они позволяют определить все входящие в них вероятности для произвольных цепей массового обслуживания.

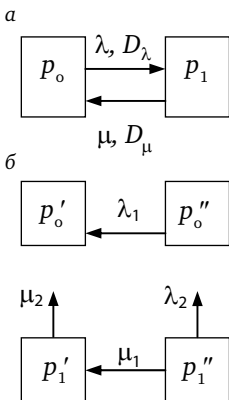


Рис. 8.17

В то же время можно обойтись и без псевдосостояний, если вместо уравнений Колмогорова написать систему

$$\{[(\lambda^2 D_\lambda - 1)/2\lambda]d^2 p_0/dt^2\} dp_0/dt = -\lambda p_0 + \mu p_1;$$

$$\{[(\mu^2 D_\mu - 1)/2\mu]d^2 p_1/dt^2\} dp_1/dt = -\mu p_1 + \lambda p_0,$$

также справедливую при любых значениях дисперсии в оговоренных пределах. Если же снять всякие ограничения на дисперсию потока, то для произвольного случая, не прибегая к псевдосостояниям, получаем систему уравнений вида

$$\mu p_1 - \lambda p_0 = dp_0/dt + \lambda/\lambda_1[(C_n^2 - n + 1)/\lambda_1 + (n - 1)/\lambda_2]d^2 p_0/dt^2 + \dots$$

$$\dots + \lambda/\lambda_1^{i-1}[(C_n^i - n + i - \lambda)/\lambda_1 + (n - i + \lambda)/\lambda_2]d^i p_0/dt^i + \dots$$

$$\dots + (1/\lambda - k) d^n p_0/dt^n,$$

где $k = \lambda/\lambda^2 D_\lambda$; n — ближайшее к k большее целое число;

$$1/\lambda = (n - 1)/\lambda_1 + 1/\lambda_2; D_\lambda = (n - 1)/\lambda_1^2 + 1/\lambda_2^2.$$

Это уравнение представляет обобщение уравнения Колмогорова на случай потоков Эрланга нецелой степени, т.е. на случай потоков с любым последствием.

Транспортные и сводящиеся к ним задачи. Основные способы решения таких задач, являющихся задачами линейного программирования, ориентируются на симплекс-метод, который является довольно громоздким. На основе информационного подхода был предложен [10, 74] метод суммарного градиента, делающий процедуру поиска решения гораздо менее громоздкой.

Предположим, что необходимо удовлетворить потребность в сырье в нескольких точках производственного комплекса, разбросанного по большой территории. Промежуточные склады сырья также могут быть разбросаны по этой территории, так что возникает задача оптимальных перевозок от складов к потребителям либо по критерию минимума стоимости, либо по критерию минимума времени перевозок.

Согласно теории информационного поля запасы сырья в промежуточных складах можно считать положительным материальным свойством (запасом) — M , а дефицит его в точках потребления можно считать отрицательным M .

Таким образом, оптимальными будут перевозки в направлении напряженности, т.е. градиента потенциала, образованного соответствующим M поля. При этом в роли потенциала поля выступают либо стоимости перевозки условной единицы сырья, либо время ее перевозки.

Идея принятия решения иллюстрируется в табл. 8.2 — 8.5.

Например, если надо удовлетворить указанную в табл. 8.1 потребность в пунктах B_1 , B_2 и B_3 за счет запасов на складах A_1 , A_2 и A_3 (цены соответствующих перевозок указаны в правом верхнем углу каждой клетки таблицы), то необходимо определить для каждого варианта (для каждой клетки) суммарный градиент потенциала.

Это выполняется путем сложения с учетом знака всех разностей между потенциалом (ценой) данной клетки и ценой непосредственно примыкающих к ней в строке и столбце соседних клеток. Результирующие суммарные градиенты приведены в той же таблице в центре клетки.

Приведем возможный вариант получения решения¹.

Пример

Оптимальной первой перевозкой является та, у которой окажется максимальным суммарный градиент. В данном случае такой градиент $+7$ соответствует перевозке всего запаса сырья (20 единиц) из A_3 в B_2 . Количество сырья и цена выделены в таблице полужирным шрифтом. Ситуация после этой перевозки отражена в табл. 8.3, где заново пересчитаны суммарные градиенты для строки A_2 , непосредственно примыкающей к отброшенной строке A_3 . Теперь оптимальной второй перевозкой оказывается перевозка необходимого груза для удовлетворения всей потребности в сырье (18 единиц) B_1 из A_1 (градиент $+3$). Ситуация после второй перевозки отражена в табл. 8.4, где заново пересчитаны суммарные градиенты для столбца B_2 , непосредственно примыкающего к отброшенному столбцу B_1 . Согласно табл. 8.4 оптимальной третьей перевозкой оказывается удовлетворение всей потребности (33 единицы) B_3 из A_2 (градиент $+2$).

¹ Пример был подготовлен и реализован студенткой *М. Р. Гуревич* в 1987 г.

Таблица 8.2

	B_1	B_2	B_3	Запасы
A_1	5 +3	7 -4	6 0	50
A_2	6 +1	6 -2	5 +2	40
A_3	8 -6	4 +7	5 -1	20
Потребности	18	21	33	

Таблица 8.3

	B_1	B_2	B_3	Запасы
A_1	5 +3	7 -4	6 0	50
A_2	6 -1	6 0	5 +2	40
Потребности	18	1	33	

Таблица 8.4

	B_2	B_3	Запасы
A_1	7 -2	6 0	32
A_2	6 0	5 +2	40
Потребности	1	33	

Таблица 8.5

	B_2	Запасы
A_1	7 -1	32
A_2	6 +1	7
Потребности	1	

После третьей перевозки складывается ситуация, отраженная в табл. 8.5, где очевидным последним шагом является удовлетворение оставшейся потребности (1 единица) B_2 за счет A_2 .

Суммируя теперь выделенные в таблицах стоимости всех перевозок, получим $20 \times 4 + 18 \times 5 + 33 \times 5 + 1 \times 6 = 341$, что является минимумом возможного и совпадает с результатом, получаемым симплекс-методом, однако быстрее и проще, поскольку не потребовалось увеличивать размер таблицы за счет введений фиктивной потребности, необходимой для приведения исходной задачи к задаче с правильным балансом, в чем нуждается симплекс-метод.

Следует оговорить, что поскольку метод суммарного градиента ориентирован лишь на ближайшую окрестность деятельности, то, с одной стороны, он значительно ускоряет процедуру решения в том числе за счет параллельного исполнения одинаковых или сопоставимых вариантов, если только они не являются смежными по строкам или по столбцам, но, с другой стороны, иногда в конце процедуры он дает ошибки, когда ближайшая окрестность оказывается всем пространством деятельности.

Например, в случае выбора из четырех вариантов, заданных в табл. 8.4, очевидным первым шагом является перевозка из A_1 в B_1 , чтобы исключить неблагоприятный вариант A_2-B_1 , но метод суммарного градиента дает A_1-B_2 . В первом случае целевая функция $10 \times 2 + 10 \times 2 + 10 = 50$, а во втором $20 \times 1 + 10 \times 4 = 60$.

Однако таких сбоев можно избежать, если кроме максимума суммарного градиента учитывать минимум суммы исключаемых градиентов. Так, в первом случае исключается в первом столбце $+1 - 4 = -3$, а во втором $+2 + 1 = +3$.

В заключение отметим, что в тех особых случаях, когда суммарный градиент оказывается одинаковым для нескольких клеток таблицы, следует выбирать такой шаг, который соответствует минимальной цене. Если же и цены оказываются одинаковыми, то следует выбирать ту клетку, которая находится в строке (если полностью исчерпан запас), либо столбце (если полностью удовлетворена потребность) с самой высокой ценой, чтобы исключить этот неблагоприятный вариант из дальнейшего рассмотрения.

Выбор гибкости производственной структуры. Проектирование и организация функционирования гибких производственных систем (ГПС) представляет собой сложную задачу, связанную с решением технических, экономических и социальных проблем, с объединением в единую систему отдельных автоматизированных подсистем — АСНИ, САПР, АСУ, АСУТП и т.п. При решении этой задачи необходимо проанализировать состояние производства, включая анализ состояния технологического оборудования и производственных площадей, исследования возможностей специализации и кооперирования производства, состояния технологической подготовки производства; определить потребность во внедрении ГПС и обосновать эффективность ее организации, необходимую степень гибкости.

При проведении таких исследований необходимо моделировать ГПС на различных стадиях ее развития — от концептуального замысла до технической реализации и управления технологическими процессами.

С обзором проблем системного проектирования предприятий с гибкой автоматизированной технологией и примерами реализации основных этапов проектирования можно познакомиться, например, в [74].

Одним из самых сложных и значимых этапов проектирования ГПС является обоснование гибкости производственной структуры. Для решения этой проблемы разрабатываются различные модели. В данном разделе рассматривается один из подходов к выбору гибкости производственной структуры, базирующийся на применении изложенного в гл. 3 информационного подхода.

Простейший способ построения гибкого производства состоит в организации параллельных технологических цепей (конвейер-

ных линий), каждая из которых (рис. 8.18, а) способна выпускать свою модификацию изделий. Для перехода от одного изделия к другому достаточно задействовать соответствующую цепь (рис. 8.18, а, б или в).

Такой способ имеет место, например, в автомобильной промышленности, где используются параллельные конвейерные линии.

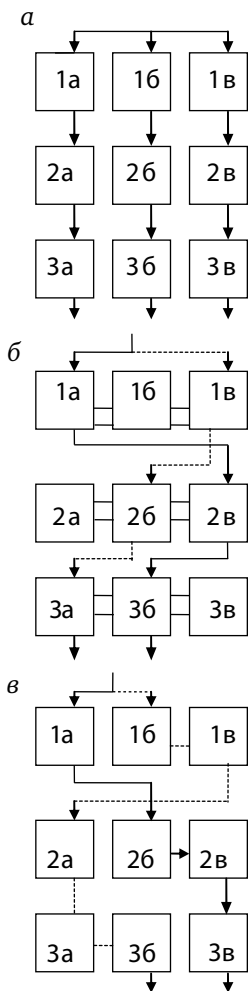


Рис. 8.18

Недостатком этого способа является простой большей части оборудования при выпуске в каждый момент только одной модификации продукции, что, правда, компенсируется возможностью параллельной работы всех цепей при выпуске всех модификаций одновременно, что обычно и делается при планировании производства путем такого распределения заказов на различные виды продукции по плановым периодам, которое обеспечило бы наилучшую загрузку оборудования и конвейерных линий (подобное распределение при позаказной системе планирования можно, например, осуществлять с применением моделей морфологического моделирования — см. гл. 4).

Альтернативный способ построения гибкого производства, наиболее распространенный, состоит (см. рис. 8.18, б) в горизонтальном агрегировании одновременных операций в едином комплексе, т.е. в использовании универсальных программируемых станков и обрабатывающих центров. В этом случае для перехода от одного изделия к другому необходимо выбирать по одной операции на каждом уровне так, чтобы в совокупности они образовали одну из возможных вертикальных цепей.

Недостаток этого способа — в простое всех операций, кроме одной, на каждом уровне а, б или в и в невозможности выпуска различных модификаций изделия (сплошные и штриховые стрелки на рис. 8.18, б), поскольку ни обрабатывающие центры, ни станки с ЧПУ не способны на выполнение больше, чем одной программы в каждый данный момент времени. Достоинс-

тво — в большем числе по сравнению с первым способом модификаций при том же выборе элементарных операций, поскольку здесь возможны не только сочетания операций с одинаковым буквенным индексом, но и операций с различными индексами.

Известная доля дополнительности достоинств и недостатков этих способов приводит к мысли о необходимости их сочетания в форме матричного (полевого) способа реализации гибкости (см. рис. 8.18, в), когда вместо сложных и громоздких агрегатов вновь используются простейшие жесткие автоматы, рассчитанные на выполнение только одной операции каждый, что позволяет, во-первых, комбинировать эти операции не только по вертикали, как в первых двух способах, но и по горизонтали, увеличивая число модификаций изделий (сплошные и штриховые стрелки на рис. 8.18, в), что резко сокращает простои оборудования.

Помимо того, переход к матричной структуре и использование в каждой точке технологического поля только простейшего оборудования, отличающегося относительно высокой надежностью, с одной стороны, увеличивают безотказность всей системы, с другой — резко облегчают ее модернизацию, ибо замена простых и дешевых малогабаритных станков на более совершенные не требует капитального вмешательства в производственную жизнь предприятия и может быть проведена без ее нарушения.

Наконец, переход к полевой гибкости, психологически важен для работы персонала, обслуживающего это производство, поскольку, во-первых, обслуживание простых автоматов значительно легче обслуживания станков с ЧПУ или обрабатывающих центров, а во-вторых, матричная структура производства развязывает творческую инициативу, как рабочих, так и инженеров, по части совершенствования, так как допускает безболезненное экспериментирование и внедрение рациональных и изобретений как в мелочах, так и в целом, без кардинальной ломки процесса.

Нетрудно видеть, что реализация полевого способа гибкости производства допускает две основополагающие схемы, к комбинации которых сведется схема любой реальной полевой технологии.

Одна из них состоит в том, что при изготовлении относительно небольших и легких изделий транспортные роботы перемещают их в технологическом поле от автомата к автомату по маршрутам, зависящим не только от технологии, но и от того, какие из подходящих автоматов (станков) свободны в данный момент.

Другая схема, применимая к относительно громоздким и тяжелым изделиям, состоит в том, что технологическое поле образуют установленные неподвижные изделия, а транспортные роботы перемещают в этом поле обрабатывающие автоматы, выбирая те из них, которые свободны в данный момент и пригодны для выполнения соответствующих операций.

Обе эти схемы возлагают основную тяжесть управления на вычислительные средства, предельно упрощая и разгружая от сложных функций технологическое оборудование, что, с одной стороны, обеспечивает высокую надежность и безотказность всей системы, а с другой — облегчает наладку, обслуживание и ремонт оборудования, допуская легкую и полную замену отказавших автоматов или станков и восстановление их в условиях ремонтного цеха или участка. В таких условиях вычислительные средства и применение методов теории массового обслуживания, оптимизации, морфологического моделирования теоретически позволяют почти полностью загрузить все оборудование, обойдя тем самым основной бич гибкого производства (и вообще всякого универсального производства) — простои большей части оборудования, всегда сопутствующие неизбежной его избыточности.

Можно указать и критерий, которым должна руководствоваться система управления полевой технологией для обеспечения оптимального размещения работ по оборудованию. Ранжировав операции по срочности и присвоив им соответствующие потенциалы Π_k , система должна обеспечить в каждый момент

$$\int_{k=1}^m \Pi_k M_k \rightarrow \max,$$

где m — общее число одновременно возможных в данном поле операций; M_k — число выполняемых операций, имеющих потенциал Π_k .

Этот критерий учитывает все факторы и допускает даже пренебрежение малым числом M_k срочных операций ради большого числа несколько менее срочных с учетом, разумеется, соответствующих ограничений на срок выполнения заказов.

Все же этот критерий может поставить гибкое производство в тяжелые условия, поскольку он никак не учитывает всякого рода профилактические остановки оборудования, которые неизбежно должны иметь место.

Поэтому универсальный критерий должен включать также время t_k непрерывной работы оборудования

$$\int_{k=1}^m \Pi_k M_k t_k \rightarrow \max,$$

которое тем больше, чем больше внимания уделяется профилактике, хотя она сама по себе и создает видимость некоторого уменьшения этого времени.

Учитывая возрастающую важность для гибкой полевой технологии оптимизации всех процессов, следует применять рассмотренный ускоренный метод решения транспортной задачи.

При случайном характере смены модификаций изделия и при одновременном производстве нескольких модификаций траектории заготовок в технологическом поле, зависящие от случайного характера оборудования, сами приобретают случайный характер, что заставляет рассматривать организацию производства как задачу массового обслуживания.

Существующие методы решения такой задачи по необходимости сводят потоки заявок в таких технологических циклах к простейшим, а сами циклы рассматривают как марковские, что по сути дела не соответствует реальному положению дел, поскольку игнорируется существенное последствие таких цепей. Поэтому следует использовать рассмотренный метод, который позволяет решить эту задачу без сомнительных допущений и с учетом реальных параметров процесса.

Темы для самоконтроля

1. Анализ факторов, влияющих на создание и функционирование системы (с учетом информационных оценок).
2. Применение информационного подхода при разработке методик организации сложных экспертиз.
3. Модели маркетинговых исследований рыночных ситуаций (с использованием метода решающих матриц и информационного подхода).
4. Информационная модель сравнительного анализа конфигурации сложных автоматизированных комплексов (КИС, БУИС и т.п.).
5. Принципы разработки методики системного анализа целей социально-экономических объектов.
6. Принципы разработки методик реструктуризации организационного управления.
9. Принципы разработки методик принятия решений по управлению внедрения инноваций.
10. Сравнительный анализ и выбор методик для конкретных предприятий (организаций) и экономических условий.

Заключение

В представленном учебнике охарактеризованы основные понятия теории систем и системного анализа, определено их место среди других научных направлений, рассмотрены классификация систем, закономерности их функционирования и развития, методы моделирования и анализа. В прикладных главах приведены примеры разработки и применения методик и моделей системного анализа для принятия решения в сложных проблемных ситуациях с большой начальной неопределенностью.

Учебник подготовлен для студентов экономических специальностей, обучающихся по направлению «Прикладная информатика». Поэтому приведенные примеры ориентированы на принятие решений в системах управления предприятиями и организациями.

В то же время отметим, что приведенные модели и примеры в основном отображают статику системы, ее проектирование, формирование структуры. Идеи учета кинематики и динамики присутствуют только в примерах на базе информационного подхода к моделированию систем и в макроэкономических моделях. Теория развивающихся систем в настоящее время еще не сформировалась.

За период, прошедший со времени издания первого учебника по системному анализу [10] и первого издания учебника авторов [1], положенного в основу данного учебника, опубликовано значительное число монографий и учебных пособий по системным исследованиям [7, 14, 28, 32, 41, 50, 51, 58 и др.] для различных специальностей соответствующих вузов и кафедр.

Начиная с 1998 г. на базе Санкт-Петербургского государственного технического (с 2002 г. — политехнического) университета ежегодно проводятся Международные научно-практические конференции «Системный анализ в проектировании и управлении», в трудах которых представлены школы многих вузов. Проводятся конференции и на базе других школ. С их краткой характеристикой можно познакомиться в работе [23].

В процессе обсуждений на конференциях выявлены перспективные направления современной теории систем и системного анализа. По результатам совместной работы на конференциях изданы два словаря-справочника [11, 12]. Авторы надеются, что дальнейшее сотрудничество будет способствовать развитию теории систем и ее приложений, в том числе с участием студентов и аспирантов, без помощи которых практически невозможно разрабатывать конкретные примеры применения такого многоаспектного направления, как теория систем.

На взгляд авторов, с учетом рассмотренных особенностей, по-видимому, развитие системных исследований должно идти в направлении создания *теории развивающихся систем* на базе объединения достижений системного, синергетического, кибернетического и информационного подходов с использованием формализованной диалектической логики.

Практические задания

Лабораторный практикум

Применение (разработка) автоматизированных диалоговых процедур для реализации методов и моделей структуризации и анализа целей и функций систем управления, организации сложных экспертиз, включая:

- автоматизированные диалоговые процедуры анализа целей и функций (АДПАЦФ);
- автоматизированные процедуры организации экспертизы на основе системы оценок методики ПАТТЕРН;
- автоматизированные процедуры для реализации модификаций метода решающих матриц Г. С. Поспелова;
- автоматизированные процедуры организации сложных экспертиз, базирующиеся на использовании информационного подхода А. А. Денисова (управление ходом внедрения нововведений, сравнительный анализ конфигурации сложных технических комплексов и т.п. по выбору студента);
- автоматизированные процедуры моделирования рыночных ситуаций с применением метода решающих матриц и информационного подхода;
- автоматизированные процедуры для реализации морфологического моделирования задач планирования и распределения.

Примерные темы рефератов

1. История развития теории систем и системного анализа.
2. Закономерности функционирования и развития систем.

3. Методы активизации интуиции и опыта специалистов.
4. Специальные методы теории систем и системного анализа.
5. Имитационное моделирование: виды и основные особенности.
6. Имитационное динамическое моделирование и его применение.
7. Теория ситуационного управления Д. А. Поспелова: история и области применения.
8. Структурно-лингвистическое моделирование и его модификации.
9. Когнитивный подход и формы его реализации.
10. Методы организации сложных экспертиз.

Курсовой проект (курсовая работа)

на тему: «Развитие предприятия (организации) на основе реструктуризации организационной системы и управления внедрением нововведений».

Предприятие (организацию) выбирает студент.

Для выполнения проекта применяются методики структуризации целей и функций, методы организации сложных экспертиз и автоматизированные диалоговые процедуры, обеспечивающие реализацию методов и методик, разработанных студентами предыдущих лет обучения. Для получения высокой оценки студенту рекомендуется разработать хотя бы одну автоматизированную диалоговую процедуру самостоятельно.

Предметный указатель

Автоматизированная диалоговая процедура анализа целей и функций (АДПАЦФ) 406—415, 542

Автоматизированная информационная система (АИС) 316

Автоматизированная система нормативно—методического обеспечения управления (АСНМОУ) 502—504, 542

Автоматизированная система управления (АСУ) 20, 21, 34, 44, 45, 51, 69, 74, 86, 66, 107, 221, 266, 373—375, 379, 385, 421, 542, 550, 591,

— — — производством (предприятием) (АСУП) 380, 385, 542, 550, 570, 591

42, 368, 369

— — — отраслевая (ОАСУ) 315—317, 319, 321, 322, 368, 369, 379

Адаптация 209—212

Аксиологическое представление системы 39, 108, 109

Аналитические методы 100, 111, 113, 118, 119, 129—134

Вероятность 120, 135—138, 214, 243, 251—254, 258, 278, 324, 417, 431—434, 441, 442, 448, 458, 463, 481, 482, 487

— достижения цели (в смысле информационного подхода А. А. Денисова) 251—254, 258, 324, 417, 431—434, 441, 442, 448, 458, 463, 481, 482, 487

— статистическая 1120, 135—138, 214, 243

Гибкие производственные системы (комплексы) (ГПС) 403, 460, 591—495
Гомеостаз 209, 211, 212

Графические представления (методы) 112, 113, 116, 118, 124, 126, 128, 172—176, 188, 212, 213, 320, 421

Графо—семиотические представления (модели) 322, 324, 326

Декомпозиция (структуризация) 4, 19, 94, 219, 254, 347—360, 377, 379, 392—403, 437

«Дельфи»—метод 113, 189—191

«Дерево целей» (структура целей, древовидная структура) 20, 47, 48, 58, 59, 95—97, 100, 108, 110, 113, 172, 183, 184, 190, 224, 226, 229, 268, 270, 347, 350, 360—370, 378, 379, 404, 405, 410, 418, 421, 548, 555

Диалектика, диалектическая логика 4, 122, 28, 40, 75, 92, 113, 117, 157, 217, 231, 233, 239, 240, 243, 245, 247, 249, 250, 256, 259—299, 498, 597

Дискретная математика 69, 116, 118, 124, 126, 135, 136, 138, 139—141, 175, 310

Диффузные (плохо организованные) системы 5, 67, 68, 70, 128, 214

«Жизненный цикл» 33, 43, 45, 98, 371, 378, 395, 415

Закономерности взаимодействия части и целого 11, 75—80, 259—273

— аддитивности 75, 78, 79

— интегративности 75, 79, 80

— прогрессирующей систематизации 75, 79

— прогрессирующей факторизации 75, 79

— целостности (эмерджентности) 75—79, 95—96, 160, 227, 237—239, 259—273, 294, 295, 299, 300, 348, 359, 382, 387, 393, 388 407, 408, 540, 548, 578—581

Закономерности иерархической упорядоченности 11, 75, 80—83, 96, 389, 390

- иерархичности 66, 73, 75, 80—83, 183, 202, 226, 227, 232, 263—280, 300, 319, 349, 361—363, 367, 371, 364, 366, 390, 397
- коммуникативности 30, 75, 80, 359, 409, 448, 544
- Закономерности осуществимости систем 11, 75, 83—87
- «необходимого разнообразия» (У. Р. Эшби) 11, 75, 84—87
- потенциальной эффективности (Б. С. Флейшмана) 11, 75 87—88
- эквифинальности 11, 71, 75, 84—87, 91—92, 98, 349—359
- Закономерности развития систем 11, 75, 87—92
- историчности 44, 45, 75, 88—89
- самоорганизации 17, 63, 75, 89—92, 543
- Закономерности теории систем, или закономерностями строения, функционирования и развития систем, или закономерности систем (макроскопические) 3, 7, 8, 10, 11, 14, 19, —23, 28, 64, 68, 72, 74, 75, 257, 259, 354, 596, 599
- Закономерности целеобразования 63, 92—97, 193, 347, 351, 352, 354, 355, 359, 396, 404, 408
- Законы диалектики (диалектической логики) 245—252, 295—299
- Иерархическая структура 41, 46—49, 56—60, 81, 82, 94—97, 183, 202, 226, 227, 232, 263—280, 300, 363, 364, 366, 397, 404—406, 409, 410, 419, 420, 548, 555
- древовидная, типа «дерева» 20, 47, 48, 58, 59, 95—97, 100, 108, 110, 113, 172, 183, 184, 190, 224, 226, 229, 268, 270, 347, 350, 360—370, 378, 379, 404, 405, 410, 418, 421, 548, 555
- многоуровневая 49—57, 404—408
- «слои», или уровни 53—55
- со «слабыми» связями 48, 58, 59, 94, 2 69, 555, 556
- «страты» 29, 30, 32, 49—53, 94, 97, 159, 279, 404, 405, 408, 430—432, 434, 435—437, 485, 505, 506, 518, 540—543, 548, 560, 563, 564, 573
- «эшелоны» 55—58, 94, 279, 407, 408, 548, 563, 573
- Иерархичность 11, 66, 75, 80—83, 389, 390
- Иерархия 5, 47, 48, 49, 51, 53, 54, 56, 57, 59, 60, 81, 82, 94 —97, 183, 259, 263, 264, 266, 269, 272, 276, 280, 363, 367, 371, 386, 397, 405, 419, 422—426, 434, 437, 555, 556, 563, 566, 569, 572, 578
- Имитационное динамическое моделирование (ИДМ) 16, 37, 69, 73, 100, 113, 115—116, 216, 228, 310, 570, 574, 599
- Информационная мощность 257, 280
- Информационная система 7, 303
- Информационно—управляющая система (ИУС) 460—463
- Информационное поле 117, 217, 231, 236, 589
- Информационный подход к анализу систем 4, 5, 7, 8, 15, 16, 17, 73, 79, 81, 109, 113, 117, 193, 216, 217, 227, 231—300, 310, 384, 387, 394, 398, 317, 417, 436, 437, 440, 458, 461, 462, 480, 537, 544, 585, 588, 591, 595, 596
- Информационный потенциал (сущность, содержание) 217, 231, 233, 236, 244, 253, 300, 389, 441—443, 454, 465, 481, 488, 491—494, 506—517, 537
- Информационный смысл (сложность, содержание) 217, 231, 233, 236, 242, 253, 255—238, 261—268, 279, 299, 300, 579—580
- Информация восприятия (чувственная) 217, 231, 233, 234, 244, 255—258, 290—293, 298—300, 537
- логическая (информационный потенциал) 217, 231, 233, 235—237, 242, 244—258, 274, 299, 300, 389, 441—443, 454, 465, 481, 488, 491—494, 506—517, 537
- научно—техническая 180, 237, 384, 447, 562, 563
- прагматическая 242, 252, 253, 255, 441—443, 454, 465, 481, 488, 491—494
- Исследование операций 15, 18, 610, 613

- Каузальное представление системы 39, 108, 109
- Кибернетика 9, 13—15, 20, 22, 23, 3031, 37, 67, 117, 125, 216, 286, 350, 610, 611, 612, 613, 614
- Классификации систем 10, 11, 61—74, 81, 98, 111, 203, 212, 229
- открытые 61—63, 66, 75, 80, 69, 91, 93, 146, 204, 212, 216, 348—349
- по степени организованности 10, 11, 67—74, 212
- по сложности 11, 63—67
- целенаправленные 63
- целеустремленные 63
- Когнитивный подход 100, 109, 111, 116, 197, 599
- Комплексированные методы 113, 115
- Концептуальное мета моделирование 16, 17
- Косвенные количественные оценки 384—387, 421, 433, 436, 440, 548
- Критерий оценки (понятие) 40, 101—106, 133
- оптимальности 133
- функционирования 102
- эффективности 67, 102, 105
- Лингвистические представления (математическая лингвистика) 99, 100, 113, 118, 123—124, 137, 158—172, 176, 226, 229, 310, 320, 381, 409
- Лингвистический подход 108, 109, 306, 308
- Логическая информация 217, 231, 233, 235—237, 242, 244—258, 274, 299, 300, 389, 441—443, 454, 465, 481, 488, 491—494, 506—517, 537
- Логические представления (математическая логика) 113, 118, 122—123, 149—157, 236
- Математическая лингвистика 99, 100, 113, 118, 123—124, 137, 158—172, 176, 226, 229, 310, 320, 381, 409
- Математическая логика 217, 231, 233, 235—237, 242, 244—258, 274, 299, 300, 389, 441—443, 454, 465, 481, 488, 491—494, 506—517, 537
- Методика PATTERN (PATTERN) 5, 20, 44, 100, 347, 350, 360—367, 384, 389, 397, 416, 417—422, 431, 422, 441, 455, 463, 486, 547, 598
- постепенной формализации моделей принятия решений 4, 70, 112, 113, 139, 116, 301—345, 543
- системного анализа 3, 19, 20, 30, 46, 70, 72—74, 87, 99, 100, 114, 117, 128, 178, 183, 217—229, 310, 360—403, 540—543
- структуризации целей 19, 22, 26, 44, 97, 311, 347, 360—403, 405, 407—416, 547—554
- Методы математического программирования 103, 118, 119, 130—133
- Методы моделирования систем 109—217
- Методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов (МАИС) 19, 99, 114—116, 128, 174, 176—202, 218, 221, 226—229, 301, 310—314, 316, 317, 319, 322, 343, 374
- выработки коллективных решений 109, 177—185
- групповых дискуссий 180—182
- «Дельфи» 1113, 189—191
- «дерева целей» (древовидная иерархическая структура) 20, 47, 48, 58, 59, 95—97, 100, 108, 110, 113, 172, 183, 184, 190, 224, 226, 229, 268, 270, 347, 350, 360—370, 378, 379, 404, 405, 410, 418, 421, 548, 555
- «мозговой атаки», («мозгового штурма») или коллективной генерации идей (КГИ) 100, 110, 113, 177—179, 181, 182, 185, 190, 226, 229, 311, 318, 572
- комбинаторной топологии (ссимплициального комплекса,) 194—197, 474—475, 576
- морфологические, морфологический подход Ф. Цвикки 4, 8, 61, 100, 108, 113, 114, 145, 190, 197—202, 228, 301, 311, 322—345, 592, 594
- организации сложных экспертиз 5, 8, 22, 113, 193, 194, 227, 228, 298, 299, 408, 417—486, 548, 565, 572, 595, 599
- парных сравнений 418, 422
- портфельного анализа 184, 195
- решающих матриц (Г. С. Поспелова) 5, 194, 417, 426—436, 440, 441, 447, 455, 463, 469, 470, 475, 476, 478, 483, 484, 486, 547, 595, 598

— структуризации (декомпозиции)
) 4, 19, 94, 219, 254, 347—360, 377 379,
 392—403, 437

— «сценариев» 100, 110, 113, 177,
 179, 180—181, 190, 224, 226, 229, 352,
 572

— экспертных оценок 110, 113, 114,
 176, 185—194, 204, 227, 323, 324, 362,
 369, 384, 387, 390, 397, 398, 405, 408,
 418—421, 432, 433, 442, 447, 457, 461,
 465, 477, 482, 486, 547, 548, 565, 573—
 576

Методы морфологического модели-
 рования Ф. Цвикки 4, 8, 61, 100, 108,
 113, 114, 145, 190, 197—202, 228, 301,
 311, 322—345, 592, 594

— морфологического ящика 198—
 202, 322, 336—345

— отрицания и конструирования
 198, 345

— систематического покрытия поля
 198—199, 345

Методы организации сложных экс-
 пертиз (МОСЭ) 5, 8, 22, 113, 193, 194,
 227, 228, 298, 299, 408, 417—486, 548,
 565, 572, 595, 599

— основанные на информационном
 подходе 5, 298, 398, 408, 418, 436—
 455, 457—459, 480—483, 486

— — — — — для анализа ситуаций
 446—454

— — — — — для управления внедре-
 нием нововведений 438—445

— — — — — для управления проек-
 тами СТК 460—466

— — — — — для формирования пор-
 тфеля заказов 456—460

Методы формализованного пред-
 ставления систем (МФПС) 19, 99,
 113—115, 117—176, 218, 221, 227—
 229, 301, 307, 310, 313, 314, 317, 543,
 574

— аналитические 100, 111, 113, 118,
 119, 129—134

— графические 112, 113, 116, 118, 124,
 126, 128, 172—176, 188, 212, 213, 320,
 421

— дискретной математики 169, 116,
 118, 124, 126, 135, 136, 138, 139—141,
 175, 310

— лингвистические, семиотические
 99, 100, 113, 118, 123—124, 137, 158—
 172, 176, 226, 229, 310, 320, 381, 409

— логические 113, 118, 122—123,
 149—157, 236

— статистические 9, 68, 100, 104, 113,
 114, 118, 120, 121, 125, 126, 129, 134—
 139, 157, 158, 175, 179, 214, 215, 237,
 254, 316, 440, 441, 482, 489, 574, 585

— теоретико—множественные 26,
 46, 54, 73, 100, 116, 121—122, 125,
 126, 140—149, 216, 226, 309, 316—
 319, 329

«Наблюдатель» 25—27, 31, 32, 64,
 65, 85, 284, 533

Нововведения (НВВ) 276, 360, 381,
 418, 430, 437, 438—445, 455, 465,
 480—483, 486, 543, 558, 598, 599

Нормативно—методические, нор-
 мативно—правовые, нормативно—
 технические документы (НМД, НПД,
 НТД) 541, 542, 582—584

Нормативно—методическое обес-
 печение 385, 398, 542, 545, 549, 550,
 562, 575

Нормативно—функциональный
 подход 566—567, 570, 603

Организационная структура (орг-
 структура) 74, 554—581

— — «булавочная цепь» 563—564

— — линейная 555, 556, 560, 577

— — линейно—функциональная
 555—557, 560

— — матричная 560—561, 577

— — программно—целевая 558—
 560, 577

— — проектная 558

— — тензорная 560

— — функциональная 555, 560, 577

— — функциональная координация
 557—558

Организационно—технологические
 процедуры (ОТП) 314, 328, 541, 568,
 574, 575, 576, 581

ПАТТЕРН (PATTERN) 5, 20, 44, 100,
 347, 350, 360—367, 384, 389, 397, 416,
 417—422, 431, 422, 441, 455, 463, 486,
 547, 598

- Поведение (понятие) 33, 41, 49
Подсистема (понятие) 33, 35, 56, 65, 71, 82
Подходы к анализу и проектированию системы
— аксиологический 39, 108, 109
— бихевиористский 107, 109
— декомпозиции 14, 19, 94, 219, 254, 347—360, 377 379, 392—403, 437
— информационный 4, 5, 7, 8, 15, 16, 17, 73, 79, 81, 109, 113, 117, 193, 216, 217, 227, 231—300, 310, 384, 387, 394, 398, 317, 417, 436, 437, 440, 458, 461, 462, 480, 537, 544, 585, 588, 591, 595, 596
— каузальный 139, 108, 109
— кибернетический 13—15, 108, 117
— композиции 68, 73, 108, 312
— лингвистический 108, 109, 306, 308
— морфологический 96, 99, 108, 229, 381
— постепенная формализация моделей принятия решений 4, 70, 112, 113, 139, 116, 301—345, 543
— ситуационный 15, 16, 100, 109, 113, 116, 143, 228, 229, 311, 599, 612
— структурно—лингвистический 116, 117, 176, 310, 317, 320, 599
— тезаурусный 96, 108, 229, 381, 409
— терминальный 96, 197, 108, 229
— целевой, целенаправленный 96, 107, 108, 190, 229,
Подходы к проектированию организационных структур 99, 564—570
— нормативно—функциональный 566—567, 570, 602
— системно—целевой 99, 565, 567, 581
— функционально—технологический 99, 565, 570, 575, 581
Прагматика 158, 160, 161, 277
Прагматическая информация 242, 252, 253, 255, 441—443, 454, 465, 481, 488, 491—494
Проблема (процесс) принятия решения 3, 100—106, 578
Прогнозный граф 183
Пространство инициирования целей 376—379, 385, 395, 397, 549, 583
Равновесие (понятие) 33, 42, 43, 84
Развивающаяся (самоорганизующаяся) система 68—74, 99, 110, 117, 128, 211, 215, 307, 543, 544
Развитие (понятие) 33, 42—43
Самоорганизующаяся (развивающаяся) система 68—74, 99, 110, 117, 128, 211, 215, 307, 543, 544
Связь (отношение) 24—27, 32, 33, 35—37
Семантика 123, 158, 160, 161, 167, 169
Семиотические представления 113, 116, 118, 123—124, 157, 158, 167—172, 176, 320
Сетевые методы (модели, структуры) 46, 60, 61, 94, 124, 174—176
Система (определения) 10, 11, 23—28, 32—33
— нормативно—методического обеспечения управления (СНМОУ) 582—584
— открытая 14, 62—63, 348
— плохо организованная (диффузная) 5, 67, 68, 70, 128, 214
— самоорганизующаяся (развивающаяся) 68—74, 99, 110, 117, 128, 211, 215, 307, 543, 544
— хорошо организованная 67, 212, 213, 228
— целенаправленная 18, 63
Сигнатурное моделирование 320
Синергетика, синергетический подход 15—17, 90—91, 216, 349, 597
Системно—целевой подход 99, 565, 567, 581
Системные исследования 15—19
Системный анализ (понятие) 7—9, 15—20, 22, 27, 111, 115, 231, 357, 596, 608—613
Системный подход 14, 15, 611, 613
Системология 15—17, 22, 237, 238, 240, 268, 281, 299, 348, 505
Системотехника 14, 16, 22, 348, 610, 611, 613
Ситуационное моделирование 15, 16, 100, 109, 113, 116, 143, 228, 229, 311, 599, 612
Сложные технические комплексы (СТК) 460—466

- Слои (уровни сложности) 51—53
- Смысл (сложность, содержание информации) 217, 231, 233, 236, 242, 253, 255—238, 261—268, 279, 299, 300, 579—580
- взаимный 236, 255, 256, 258, 262—265, 268, 280, 299
 - системный 236, 255, 256, 258, 262—265, 268, 280, 299
 - собственный 236, 255, 256, 258, 262—265, 268, 280, 299
- Состояние (понятие) 33, 41
- Специальные методы системного анализа
- имитационное динамическое моделирование (ИДМ) 16, 37, 69, 73, 100, 113, 115—116, 216, 228, 310, 570, 574, 599
 - информационный подход 74, 5, 7, 8, 15, 16, 17, 73, 79, 81, 109, 113, 117, 193, 216, 217, 227, 231—300, 310, 384, 387, 394, 398, 317, 417, 436, 437, 440, 458, 461, 462, 480, 537, 544, 585, 588, 591, 595, 596
 - постепенная формализация моделей принятия решений с попеременным использованием средств МАИС и МФПС 4, 70, 112, 113, 139, 116, 301—345, 543
 - ситуационное моделирование (ситуационное управление) 15, 16, 100, 109, 113, 116, 143, 228, 229, 311, 599, 612
 - структурно—лингвистическое моделирование 116, 117, 176, 310, 317, 320, 599
- Среда 25, 30—32, 98, 368 378, 446, 544, 545, 551, 552
- Статистические методы 9, 68, 100, 104, 113, 114, 118, 120, 121, 125, 126, 129, 134—139, 157, 158, 175, 179, 214, 215, 237, 254, 316, 440, 441, 482, 489, 574, 585
- Степень соответствия 227, 253, 254, 258, 437, 481
- Степень целостности 78—79, 92, 263, 266, 267—273, 300, 387, 398, 408, 548, 579—581
- Страты 29, 30, 32, 49—53, 94, 97, 159, 279, 404, 405, 408, 430—432, 434, 435—437, 485, 505, 506, 518, 540—543, 548, 560, 563, 564, 573
- Структура (понятие) 33, 40—41, 46—61
- древовидная типа «дерева» 20, 47, 48, 58, 59, 95—97, 100, 108, 110, 113, 172, 183, 184, 190, 224, 226, 229, 268, 270, 347, 350, 360—370, 378, 379, 404, 405, 410, 418, 421, 548, 555
 - иерархическая 41, 46—49, 56—60, 81, 82, 94—97, 183, 202, 226, 227, 232, 263—280, 300, 363, 364, 366, 397, 404—406, 409, 410, 419, 420, 548, 555
 - матричная 57—58
 - многоуровневая (типа «страт», «слоев», «эшелонов») 49—57
 - сетевая 46
 - смешанная (с вертикальными и горизонтальными связями) 58—60
 - со «слабыми» связями 48, 58, 59, 94, 269, 555, 556
 - с произвольными связями 60, 61
- Структура автоматизированной системы управления 375, 375, 380
- — — обеспечивающей части (ОЧ) 69, 74, 321, 328
 - — — функциональной части (ФЧ) 51, 69, 74, 374, 375, 380
- Структуризация (декомпозиция) 4, 19, 94, 219, 254, 347—360, 377, 379, 392—403, 437
- Структурно—лингвистическое моделирование 116, 117, 176, 310, 317, 320, 599
- «Сценарий» 100, 110, 113, 177, 179—181, 190, 224, 226, 229, 352, 572
- Тезаурус 108, 123, 158—160
- Тезаурусный подход 96, 108, 229, 381, 409
- Тектология (А. А. Богданова) 14, 16, 348
- Теоретико—множественные представления (методы) 26, 46, 54, 73, 100, 116, 121—122, 125, 126, 140—149, 216, 226, 309, 316—319, 329
- Теория информационного поля 17, 217, 231—237, 589

- Теория систем (понятие) 14—16
 Теория формальных грамматик (формальных языков) 124, 162—168
 Устойчивость (понятие) 33, 42, 43
 Функционально—технологический подход 565, 570, 575, 581
 Хорошо организованная система 67, 212, 213, 228
 Целевая функция 27, 67, 102, 132, 133, 213, 226, 335, 457, 590
 Целенаправленная, целеустремленная система 63
 Целеобразование (целеполагание) 4, 7, 8, 10, 19, 37, 39, 45, 63, 71, 73, 92—98, 183, 217, 277, 348—360, 375, 378, 388, 395, 396, 400
 Целостность (эмерджентность) 75—79, 95—96, 160, 227, 237—239, 259—273, 294, 295, 299, 300, 348, 359, 382, 387, 393, 388 407, 408, 540, 548, 578—581
 Цель 19, 25, 26, 32, 33, 35, 37—40, 71, 77, 82, 92—98, 348—416
 Чувственная информация, чувственное восприятие (отражение) 217, 231, 233, 234, 244, 255—258, 290—293, 298—300, 537
 Эквивинальность 11, 71, 75, 84—87, 91—92, 98, 349—359
 Экспертные оценки 110, 113, 114, 176, 185—194, 204, 227, 323, 324, 362, 369, 384, 387, 390, 397, 398, 405, 408, 418—421, 432, 433, 442, 447, 457, 461, 465, 477, 482, 486, 547, 548, 565, 573—576
 Элемент (понятие) 24, 25, 33—35
 Эшелон 55—58, 94, 279, 407, 408, 548, 563, 573
 Язык автоматизации моделирования (проектирования) 108, 147, 176, 202, 314, 568, 575
 — моделирования 50, 69, 73, 108, 112, 115, 117, 118, 120, 121, 123, 124, 128, 139, 143, 156, 157, 160—161, 165, 167, 202, 215, 226, 309—313, 319—322, 325—327, 329, 574

Именной указатель

Адамар К. (K. Adamar) 13, 112, 307, 313
Адизес И. 44
Акофф Р. (R. Ackoff) 16, 184, 186—187, 348, 358, 387—391, 395, 416, 549, 551
Анохин П. К. 25, 38
Аристотель 23, 198, 244
Афанасьев В. Г. 14, 16, 28, 79, 216, 348

Базилевич Л. А. 569
Бауэр Э. С. 71
Берг А. И. 16
Берталанфи Л. фон (Bertalanfy L. von) 14, 16, 24, 34, 62, 63, 74, 75, 80, 84, 89, 91, 212, 216, 348, 349, 356, 609
Бестужев-Лада И. В. 357
Блауберг И. В. 16
Богданов (Малиновский) А. А. 14, 16, 79, 348
Болотова-Загадская Л. С. 16, 116
Больцано Б. (Bolzano B.) 142
Боулдинг К. (Boulding K.) 16, 66, 67, 81, 98, 203, 212, 216
Брук В. М. 36, 611
Бусленко Н. П. 64

Вальд А. (Wald A.) 118, 120, 138
Валуев С. А. 16, 87, 100, 348, 369, 568, 608
Вапнэ Г. М. 39, 367
Вентцель Е. С. 16
Вернадский В. И. 25, 356
Винер Н. (Viener N.) 13, 16
Волкова В. Н. 7, 16, 27, 44, 67, 87, 94, 485, 608, 609, 613, 614

Гаазе-Рапопорт М. Г. 25
Гёдель К. (Godel K.) 114, 115, 166, 167
Гендин А. М. 39, 193
Гибсон У. Р. (Gibson W.R.) 25
Гиг Дж. ван (Gigch J. P. van) 16, 89, 349
Глушков В. М. 20, 21, 58, 183, 190

Гоббс Т. (Hobbes T.) 358
Голубков Е. П. 16, 221, 369, 610
Горелова Г. В. 116, 610
Граве П. С. 38, 610, 612
Гуд Г. (Goode H.) 14, 16, 610
Гуттман Л. (Goottman L.) 188

Данциг Дж. (Danzig D.) 130
Дегтярев Ю. И. 16, 18, 610
Денисов А. А. 16 — 18, 79, 64, 92, 437, 486, 59, 598, 608, 610
Дрожжинов В. В. 614
Дружинин В. В. 15, 16, 610
Друкер Р. (Droucer C.) 194
Дуболазов В. А. 332
Дэвис Ч. (Ch. Davis) 16, 360
Емельянов А. А. 16, 44, 64

Жимерин Д. Г. 21
Жуков В. А. 357
Заде Л. 121, 125, 126, 193, 282
Зарипов Р. Х. 165
Зигфорд С. (S. Sigford) 16, 361

Ивахненко А. Г. 90
Игнатьев М. Б. 211
Кант Г. 217, 298
Кантор Г. 142
Канторович Л. И. 103, 130, 610
Касты Дж. (J. Casti) 194, 474, 576, 610
Качала В. В. 356, 610
Квейд Э. (Quade E.) 16, 18, 219—221, 226,, 611
Кемени Дж. (Kemeny J.) 186
Кершнер Р. (Koershner R.) 30
Кёстлер А. (Koestler A.) 82
Кинг В. (King A.) 16—18, 611
Клиланд Д. (Cleland D.) 16—18, 611
Клир Дж. (Clier D.) 30

- Клык Ю. И. 16, 116
Кобринский Н. Е. 16
Козлов В. Н. 16, 608
Колесников Д. Н. 16, 64, 92, 608
Колмогоров А. Н. 97, 587, 588
Колосов В. Г. 378
Кондратьев Н. Д. 45
Конторов Д. С. 15, 16, 610
Косыгин А. Н. 353
Котельников В. А. 87, 139
Кочнев Л. В. 375
Кошарский Б. Д. 348, 372, 375, 393, 550, 551
Краймер Л. П. 16
Кузин Б. И. 130, 611
Кузин Л. Т. 16
Купманс Т. (Koormans T.) 130
Кулик В. Т. 15, 16, 611
Куликовски Р. (Koolikovskiy R.) 107, 611
Кухтенко А. И. 125
Кушнерик Дж. П. (Kushnerik J. P.) 361
Лайкерт Р. (Likert R.) 187
Лем С. (Lem S.) 105
Леруа Э. (Le Roy E.) 356
Литвак Б. Г. 186, 611
Лулий Р. 198
Майминас Е. 16
Макаров М. Г. 37, 38, 348, 611
Малиновский А. А. 79
Макол Р. (Machol R.) 14, 16, 610
Марков А. А. 155, 157
Месарович М. (Mesarovich M.) 16, 24, 29, 49, 53, 55, 57, 79, 94, 104, 107, 121, 147, 407, 608, 611
Миллер Дж. (Miller J.) 30, 97, 223, 394, 425, 578
Мильнер Б. З. 567, 611
Моисеев Н. Н. 16, 16-8, 611
Мопассан Ги де 192
Моргенштерн О. (Morgenstern O.) 186, 187
Мясников В. А. 21, 612
Налимов В. В. 67
Нейман Дж. фон (Neumann J.) 186, 187
Нечаев В. В. 16, 17, 611
Никаноров С. П. 16
Николаев В. И. 16, 36, 43, 611
Новожилов В. В. 130
Новик И. Б. 15, 16
Ногин В. Д. 326, 612
Одрин В. М. 198, 612
Оптнер С. (Optner S.) 15, 16, 18, 28, 219, 220, 221, 226, 612
Остуд Ч. (Osgood Ch.) 188
Парето В. (Pareto V.) 186, 326, 357
Парменид 217
Перебудов Ф. И. 15, 16, 91, 348, 375, 393, 608, 612
Поваров Г. Н. 64
Портер Г. (Porter G.) 185
Поспелов Г. С. 5, 14, 44, 227, 417, 426–439, 469, 483, 486, 547, 598, 612
Поспелов Д. А. 16, 100, 116, 229, 599, 612 113
Пригожин И. Р. 16, 17, 90, 91, 349, 612
Раппопорт А. (Rappoport A.) 30
Раппопорт В. С. 611
Растринин Л. А. 16, 38, 91, 92, 95, 348, 360, 610, 612
Руденко А. П. 16
Саати Т. (Saaty T.) 5, 48, 417, 422–425, 612
Сагатовский В. Н. 16, 25, 26, 91, 348, 357, 371, 375, 380, 393
Садовский В. Н. 14, 16, 23, 25, 26, 30, 80, 216, 610, 612
Самофалов В. И. 87, 568
Саркисян С. А. 44
Сасиени М. 16
Сигорский В. П. 125
Слезингер Г. Э. 566
Соколицын С. А. 130
Спицнадель В. Н. 43, 44, 612
Старовойтова М. И. 570
Стенгерс Л. (Stengers L.) 16, 612
Субетто А. И. 91, 612
Тарасенко Ф. П. 16, 612
Тейяр де Шарден П. (Teilhard de Chardin P.) 356
Темников Ф. Е. 14, 16 25, 52, 67, 91, 114, 118, 302–304, 612, 613
Терещенко В. И. 86

- Терстоун Л. (Thurstone L.) 186
Тюхтин В. С. 14, 16, 216, 348, 613
Уёмов А. И. 14, 16, 23, 24, 26, 216, 348, 371 375, 380, 390, 393, 416, 549, 550, 551, 613
Урманцев Ю. А. 14, 16, 32, 613
Урсул А. Д. 216
Федотов А. В. 16, 115, 613
Флейшман Б. С. 11, 15, 16, 65, 75, 87, 613
Фомин Б. Ф. 16, 17, 619
Форрестер Дж. (Forrester J.) 16, 115
Фреге Г. (Frege G.) 168
Хакен Г. 16
Хартли Р. (Hartly R.) 254
Харкевич А. А. 254
Хелмер О. (Helmer O.) 189
Хендерсон Б. 184
Хемфри Г. (Humphrey H.) 361
Холл А. (Hall A.) 10, 16, 24, 74, 79, 267, 613
Холодный Н. Г. 356, 359
Хомский Н. (Chomsky N.) 162, 165
Цвикки Ф. (Zwicky F.) 108, 198, 199, 200—202, 301, 322, 336, 345, 614
Цышкин Я. З. 89, 210
Чабровский В. А. 39, 367, 609
Черняк Ю. И. 15, 16, 18, 25, 27—29, 50, 65, 66, 71, 93, 219—222, 348, 368—369, 371, 416, 444, 613
Черчмен У. (Churchman W.) 16, 183, 186—187, 613
Честнат Г. (Chestnut H.) 16
Четвериков В. Н. 348
Четвертаков М. М. 44
Чудесова Г. П. 582, 613, 614
Шеннон К. (Shannon C.) 252, 254
Шрейдер Ю. А. 123, 158, 159, 168, 170, 614
Эмери Ф. (Emery F.) 16, 348, 358, 387, 391, 609
Энгельгардт В. А. 81
Эрроу К. (Arrow K.) 186
Эткин Р. (Atkin R.) 194
Эшби У. Р. (Ashby W. R.) 11, 16, 25, 27, 30, 64, 75, 84, 95, 210, 614
Юдин Э. Г. 16, 30, 80, 610
Юрьев В. Н. 130, 611, 614
Яковенко Е. Г. 44
Ямпольский В. З. 16, 375, 393
Янг С. (Joung C.) 16, 18, 219—221, 614
Янч Э. (Jantech E.) 16, 614

Список литературы

Основная

1. Волкова, В. Н. Основы теории систем и системного анализа : учебник / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. — СПб. : изд-во СПбГТУ, 1997. — 512 с. — 2-е изд., 2000. — 512 с. — 3-е изд., 2004. — 520 с.
2. Волкова, В. Н. Теория систем : учеб. пособие / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. — М. : Высшая школа, 2006. — 512 с.
3. Волкова, В. Н. Методы формализованного представления систем : учеб. пособие / В. Н. Волкова, А. А. Денисов, Ф. Е. Темников. — СПб. : изд-во СПбГТУ, 1993. — 107 с.
4. Волкова, В. Н. Методы организации сложных экспертиз : учеб. пособие / В. Н. Волкова, А. А. Денисов — СПб. : изд-во Политехнического ун-та. — 128 с.
5. Денисов, А. А. Теория больших систем управления : учеб. пособие / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. — Л. : Энергоиздат, 1982. — 288 с.
6. Денисов, А. А. Современные проблемы системного анализа : учебник. — 3-е изд., перераб. и доп. / А. А. Денисов. — СПб. : изд-во Политехнического ун-та, 2008. — 304 с.
7. Дрогобыцкий, И. Н. Системный анализ в экономике : учеб. пособие / И. Н. Дрогобыцкий. — М. : Финансы и статистика, 2007. — 512 с.
8. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. — М. : Мир, 1973. — 344 с.
9. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ : учеб. пособие / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. — М. : Высшая школа, 1989. — 367 с.
10. Системный анализ в экономике и организации производства : учебник для вузов / под ред. С. А. Валуева, В. Н. Волковой. — Л. : Политехника, 1991. — 398 с.
11. Системный анализ и принятие решений : словарь-справочник / под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. — М. : Высшая школа, 2004. — 616 с.

12. Теории систем и системный анализ в управлении организациями : справочник : учеб. пособие / под ред. В. Н. Волковой, А. А. Емельянова. — М. : Финансы и статистика ; ИНФРА-М, 2009. — 848 с.

Дополнительная

13. Акофф, Р. О целеустремленных системах / Р. Акофф, Ф. Эмери. — М. : Советское радио, 1974. — 272 с.
14. Анфилатов, В. С. Системный анализ в управлении : учеб. пособие / В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин ; под ред. А. А. Емельянова. — М. : Финансы и статистика, 2002. — 368 с.
15. Афанасьев, В. Г. Проблема целостности в философии и биологии / В. Г. Афанасьев. — М. : Мысль, 1984. — 416 с.
16. Берталанфи, Л. фон. История и статус общей теории систем / Л. фон Берталанфи // Системные исследования : Ежегодник, 1972. — М. : Наука, 1973. — С. 20—37.
17. Берталанфи, Л. фон. Общая теория систем : критический обзор / Л. фон Берталанфи // Исследования по общей теории систем. — М. : Прогресс, 1969. — С. 23—82.
18. Богданов, А. А. Всеобщая организационная наука: тектология. В 2 кн. / А. А. Богданов. — М., 1905—1924.
19. Волкова, В. Н. Методы формализованного представления (отображения) систем : текст лекций / В. Н. Волкова, Ф. Е. Темников. — М. : ИПКИР, 1974. — 14 с.
20. Волкова, В. Н. Цель: прогнозирование, анализ, структуризация / В. Н. Волкова, В. А. Чабровский. — СПб. : изд-во ИСЭП РАН, 1995. — 114 с.
21. Волкова, В. Н. К методике проектирования автоматизированных информационных систем / В. Н. Волкова // Автоматическое управление и вычислительная техника. — Вып. 11. — М. : Машиностроение, 1975. — С. 289—300.
22. Волкова, В. Н. Автоматизированные информационные системы в высшей школе: История и перспективы / В. Н. Волкова, Ю. А. Голуб. — СПб. : изд-во Политехнического ун-та, 2011. — 112 с.
23. Волкова, В. Н. Из истории теории систем и системного анализа / В. Н. Волкова. — СПб. : изд-во СПбГТУ, 2001. — 260 с.
24. Волкова, В. Н. Теория систем и системный анализ: методики и автоматизированные процедуры для реструктуризации систем управления / В. Н. Волкова. — СПб. : изд-во Политехнического ун-та, 2005. — 72 с.
25. Волкова, В. Н. Постепенная формализация моделей принятия решений / В. Н. Волкова. — СПб. : изд-во СПбГПУ, 2006. — 120 с.

26. Гиг, Дж. ван. Прикладная общая теория систем. В 2 кн. / Дж. ван Гиг. — М. : Мир, 1981. Кн. 1. — 341 с., кн. 2. — 342 с.
27. Голубков, Е. П. Использование системного анализа в принятии плановых решений / Е. П. Голубков. — М. : Экономика, 1982. — 160 с.
28. Горелова, Г. В. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Г. В. Горелова, Е. Н. Захарова, С. А. Радченко. — Ростов н/Д : изд-во РГУ, 2006. — 330 с.
29. Горькова, В. И. Информетрия : Количественные методы в научно-технической информации / В. И. Горькова // Итоги науки и техники. Сер. Информатика. — Т. 10. — М. : изд-во ВИНТИ, 1988. — 328 с.
30. Граве, П. Кибернетика и психика / П. Граве, Л. Растригин. — Рига : Зинатне, 1973. — 96 с.
31. Гуд, Г. Х. Системотехника: Введение в проектирование больших систем / Г. Х. Гуд, Р. З. Макол. — М. : Советское радио, 1962. — 383 с.
32. Дегтярев, Ю. И. Системный анализ и исследование операций : учебник / Ю. И. Дегтярев. — М. : Высшая школа, 1996. — 336 с.
33. Денисов, А. А. Теоретические основы кибернетики: Информационное поле / А. А. Денисов. — Л. : ЛПИ, 1975. — 40 с.
34. Денисов, А. А. Информационные основы управления / А. А. Денисов. — Л. : Энергоатомиздат, 1983. — 72 с.
35. Денисов, А. А. Макроэкономическое моделирование и управление / А. А. Денисов. — СПб. : изд-во Политехнического ун-та, 2006. — 72 с.
36. Дружинин, В. В. Проблемы системологии / В. В. Дружинин, Д. С. Конторов. — М. : Советское радио, 1976. — 286 с.
37. Емельянов, А. А. Компьютерная имитация экономических процессов / А. А. Емельянов [и др.] ; под ред. А. А. Емельянова. — М. : Маркет ; ДС, 2010. — 664 с.
38. Исследования по общей теории систем : сб. переводов / под ред. В. Н. Садовского и Э. Г. Юдина. — М. : Прогресс, 1969. — 520 с.
39. Канторович, Л. В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов / Л. В. Канторович. — М. : изд-во АН СССР, 1960. — 347 с.
40. Касти, Дж. Большие системы: связность, сложность и катастрофы / Дж. Касти. — М. : Мир, 1982. — 216 с.
41. Качала, В. В. Основы системного анализа : учеб. пособие / В. В. Качала. — Мурманск : изд-во МГТУ, 2003. — 104 с.
42. Качанова, Т. П. Основания системологии феноменального / Т. П. Качанова, Б. Ф. Фомин. — СПб. : изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999. — 180 с.

43. Квейд, Э. Анализ сложных систем / Э. Квейд. — М. : Советское радио, 1969. — 520 с.
44. Клиланд, Д. Системный анализ и целевое управление / Д. Клиланд, В. Кинг. — М. : Советское радио, 1979. — 279 с.
45. Куликовски, Р. Оптимальные и адаптивные процессы в системе автоматического регулирования / Р. Куликовски. — М. : Наука, 1967.
46. Кулик, В. Т. Современная теория организационных систем — системология / В. Т. Кулик. — Киев : Знание, 1971. — 24 с.
47. Кузин, Б. И. Методы и модели управления фирмой / Б. И. Кузин, В. Н. Юрьев, Г. М. Шахдинаров. — СПб. : Питер, 2001. — 432 с.
48. Литвак, Б. Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа / Б. Г. Литвак. — М. : Радио и связь, 1982. — 184 с.
49. Лопухин, М. М. ПАТТЕРН — метод планирования и прогнозирования научных работ / М. М. Лопухин. — М. : Советское радио, 1971. — 160 с.
50. Лукьянова, Л. М. Системный анализ: Структурно-целевой подход : учеб. пособие / Л. М. Лукьянова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Калининград : КГТУ, 2001. — 234 с.
51. Львоградский, Л. А. Горизонты системного анализа / Л. А. Львоградский. — Самара : ИЭКА «Поволжье», 2002. — 244 с.
52. Макаров, М. Г. Категория цель в домарксистской философии / М. Г. Макаров. — М. : Наука, 1974. — 186 с.
53. Математика и кибернетика в экономике : словарь-справочник. — М. : Экономика, 1975. — 700 с.
54. Месарович, М. Общая теория систем : математические основы / М. Месарович, И. Такахара. — М. : Мир, 1978. — 311 с.
55. Михайлов, А. И. Основы информатики / А. И. Михайлов, А. И. Черный, Р. С. Гиляревский. — М. : Наука, 1976. — 435 с.
56. Мильнер, Б. З. Системный подход к организации управления / Б. З. Мильнер, Л. И. Евенко, В. С. Рапопорт. — М. : Экономика, 1983. — 224 с.
57. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. — М. : Наука, 1981. — 488 с.
58. Мотышина, М. С. Исследование систем управления : учеб. пособие / М. С. Мотышина. — СПб. : Издательство Михайлова В. А., 2006. — 220 с.
59. Нечаев, В. В. Введение в теорию метамоделирования систем / В. В. Нечаев. — М. : Информациология, 1997. — 64 с.
60. Никаноров, С. П. Теоретико-системные конструкты для концептуального анализа и проектирования / С. П. Никаноров. — М. : Концепт, 2006. — 312 с.
61. Николаев, В. И. Системотехника: методы и приложения / В. И. Николаев, В. М. Брук. — Л. : Машиностроение, 1985. — 199 с.

62. *Ногин, В. Д.* Принятие решений в многокритериальной среде / В. Д. Ногин. — М. : Физматгиз, 2002. — 176 с.
63. *Овсиевич, Б. Л.* Формирование организационных структур / Б. Л. Овсиевич. — Л. : Наука, 1979. — 159 с.
64. *Одрин, В. М.* Метод морфологического анализа технических систем / В. М. Одрин. — М. : изд. ВНИПИ, 1989. — 312 с.
65. *Оптнер, С.* Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С. Оптнер. — М. : Советское радио, 1969. — 216 с.
66. Основы системного подхода и их приложение к разработке территориальных АСУ / под ред. Ф. И. Перегудова. — Томск : изд-во ТГУ, 1976. — 440 с.
67. *Поспелов, Г. С.* Проблема программно-целевого планирования и управления / Г. С. Поспелов [и др.]. — М. : Наука, 1980. — 440 с.
68. *Поспелов, Д. А.* Ситуационное управление: Теория и практика / Д. А. Поспелов. — М. : Наука, 1986. — 284 с.
69. *Пригожин, И.* Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стенгерс. — М. : Прогресс, 1986. — 431 с.
70. *Растригин, Л. А.* Кибернетика как она есть / Л. А. Растригин, П. С. Граве. — М. : Молодая гвардия, 1975. — 208 с.
71. Растригин, Л. А. Современные принципы управления сложными объектами. — М. : Радио и связь, 1980. — 228 с.
72. *Саати, Т.* Аналитическое планирование: Организация систем / Т. Саати, К. Кернс. — М. : Радио и связь, 1991. — 224 с.
73. *Садовский, В. Н.* Основания общей теории систем: Логико-методологический анализ / В. Н. Садовский. — М. : Наука, 1974. — 279 с.
74. Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / под ред. В. А. Мясникова, Ф. Е. Темникова. — М. : Радио и связь, 1990. — 293 с.
75. Системные исследования : Ежегодник, 1971. — М. : Наука, 1972. — С. 128—152.; Ежегодник, 1973. — М. : Наука, 1974. — С. 52—62, 127—148.
76. *Спицнадель, В. Н.* Основы системного анализа : учеб. пособие / В. Н. Спицнадель. — СПб. : Изд. дом «Бизнес-Пресса», 2000. — 326 с.
77. *Субетто, А. И.* Социогенетика / А. И. Субетто. — СПб. — М. : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 1994. — 168 с.
78. *Тарасенко, Ф. П.* Прикладной системный анализ: наука и искусство решения проблем : учебник / Ф. П. Тарасенко. — Томск, изд-во Томского ун-та, 2004. — 186 с.

79. Темников, Ф. Е. Высокоорганизованные системы / Ф. Е. Темников // Большие системы: Теория, методология, моделирование. — М. : Наука, 1971. — С. 85—94.
80. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В. Н. Волкова [и др.]. — М. : Радио и связь, 1983. — 248 с.
81. Тихонов, В. И. Совершенствование структуры функциональной части АСУ автомобильным производством / В. И. Тихонов [и др.]. — Тольятти : изд. филиала ЦНИИТЭИАвтопрома, 1988. — 72 с.
82. Тютин, В. С. Отражение, система, кибернетика: Теория отражения в свете кибернетики и системного подхода / В. С. Тютин. — М. : Наука, 1972. — 256 с.
83. Уёмов, А. И. Системный подход и общая теория систем / А. И. Уёмов. — М. : Мысль, 1978. — 272 с.
84. Урманцев, Ю. А. Опыт аксиологического построения общей теории систем / Ю. А. Урманцев // Системные исследования : Ежегодник, 1971. — М. : Наука, 1972. — С. 128—152.
85. Флейшман, Б. С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем / Б. С. Флейшман. — М. : Советское радио, 1971. — 225 с.
86. Флейшман, Б. С. Основы системологии / Б. С. Флейшман. — М. : Радио и связь, 1982. — 272 с.
87. Федотов, А. В. Моделирование макроэкономических процессов : учеб. пособие / А. В. Федотов. — Л. : изд. ЛПИ, 1987. — 84 с.
88. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. — М. : Наука, 1978. — 167 с.
89. Холл, А. Опыт методологии для системотехники / А. Холл. — М. : Советское радио, 1975. — 448 с.
90. Черный, А. И. Введение в теорию информационного поиска / А. И. Черный. — М. : Наука, 1975. — 298 с.
91. Черняк, Ю. И. Анализ и синтез систем в экономике / Ю. И. Черняк. — М. : Экономика, 1970. — 151 с.
92. Черняк, Ю. И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю. И. Черняк. — М. : Экономика, 1975. — 191 с.
93. Черняк, Ю. И. Простота сложного / Ю. И. Черняк. — М. : Знание, 1975. — 206 с.
94. Черчмен, У. Введение в исследование операций / У. Черчмен [и др.]. — М. : Наука, 1968.
95. Черч, А. Введение в математическую логику / А. Черч. — М. : изд-во ИЛ, 1960. — С. 66—80.
96. Чудесова, Г. П. Преобразование организационной структуры при изменении формы собственности предприятия / Г. П. Чудесова. — СПб. : изд-во СПбГТУ, 1995. — 190 с.

97. Чудесова, Г. П. Управление маркетинговой деятельностью промышленного предприятия / Г. П. Чудесова. — СПб. : изд-во Политехнического ун-та, 2006. — 220 с.
98. Шемакин, Ю. И. Тезаурус в автоматизированных системах управления и обработки информации / Ю. И. Шемакин. — М. : Воениздат, 1974. — 172 с.
99. Шемакин, Ю. И. Компьютерная семантика / Ю. И. Шемакин, А. А. Романов. — М. : научно-образовательный центр «Школа Китайгородской», 1996. — 343 с.
100. Широков, Ф. Три ступени Альберта Гора / Ф. Широков, В. Дрожжинов // Компьютер-Пресс. — 1994, — № 9. — С. 43—46; № 10. — С. 87—95.
101. Шрейдер, Ю. А. Логика знаковых систем / Ю. А. Шрейдер. — М. : Знание, 1974. — 43 с.
102. Шрейдер, Ю. А. Равенство, сходство, порядок / Ю. А. Шрейдер. — М. : Наука, 1971. — 254 с.
103. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби. — М. : изд-во ИЛ, 1959. — 432 с.
104. Юрьев, В. Н. Информационные системы в экономике : учебник / В. Н. Юрьев, В. Н. Волкова. — СПб. : изд-во Политехнического ун-та, 2006. — 538 с.
105. Янг, С. Системное управление организацией / С. Янг. — М. : Советское радио, 1972. — 455 с.
106. Янч, Э. Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч. — М. : Прогресс, 1974. — 586 с.
107. Bertalanfy, L. von. General System Theory — a Critical Review / L. von Bertalanfy // General System, vol. VII, 1962, — p. 1—20.
108. Boulding, K. General System Theory — the Skeleton of Science / K. Boulding // General System, vol. 1, 1956, — p. 11—17.
109. Zwicky, F. Morphological astronomy / F. Zwicky. — Berlin : Springer-Verlag, 1957. — 299 p.

Покупайте наши книги:

В офисе издательства «ЮРАЙТ»:

111123, г. Москва, ул. Плеханова, д. 4а,
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: sales@urait.ru, www.urait.ru

В логистическом центре «ЮРАЙТ»:

140053, Московская область, г. Котельники, мкр. Ковровый, д. 37,
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: sales@urait.ru, www.urait.ru

В интернет-магазине «ЮРАЙТ»: www.urait-book.ru,

e-mail: order@urait-book.ru, тел.: (495) 742-72-12

Для закупок у Единого поставщика в соответствии
с Федеральным законом от 21.07.2005 № 94-ФЗ обращаться
по тел.: (495) 744-00-12, e-mail: sales@urait.ru, vuz@urait.ru

**Новые издания и дополнительные материалы доступны
в электронной библиотечной системе «Юрайт»
biblio-online.ru**

Учебное издание

**Волкова Виолетта Николаевна,
Денисов Анатолий Алексеевич**

ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Учебник для академического бакалавриата

Формат 60×90¹/₁₆.

Гарнитура «Petersburg». Печать цифровая.

Усл. печ. л. 38,5. Доп. тираж 100 экз. Заказ №

ООО «Издательство Юрайт»

111123, г. Москва, ул. Плеханова, д. 4а.

Тел.: (495) 744-00-12. E-mail: izdat@urait.ru, www.urait.ru